



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE BOTÁNICA

GERMINACIÓN, EMERGENCIA Y DESARROLLO INICIAL DEL ÁRBOL *Andira galeottiana* STANDL.

OSCAR SANTOS PÉREZ HEREDIA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2022

La presente tesis titulada: "**Germinación, emergencia y desarrollo inicial del árbol *Andira galeottiana Standl***" realizada por el alumno: **Óscar Santos Pérez Heredia** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
BOTÁNICA**

CONSEJO PARTICULAR



CONSEJERO **Dr. José Rodolfo García Nava**



ASESOR **Dr. Mario Luna Cavazos**



ASESOR **Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada**

Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2022

GERMINACIÓN, EMERGENCIA Y DESARROLLO INICIAL DEL ÁRBOL *Andira galeottiana* STANDL.

Óscar Santos Pérez Heredia. M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022.

RESUMEN

Andira galeottiana Standl. presenta latencia física, por lo que es necesario realizar experimentos de germinación. El presente estudio evaluó el efecto de la escarificación y temperatura en la germinación, emergencia del tallo y el crecimiento inicial del árbol. Se utilizaron tres tratamientos de escarificación: T1 100%, T2 al 1.5 cm a partir del micrópilo y T3 testigo con semillas intactas, y cuatro condiciones de temperatura: T1 25, T2 30, T3 35 y T4 40 °C, con fotoperiodo 16:8 horas luz-oscuridad; se utilizó un diseño experimental completamente al azar y comparación de medias de Tukey. La escarificación de semilla en invernadero no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p \geq 0.05$) en germinación, pero sí respecto al testigo, con 67, 55 y 0% de germinación final para T1 100%, T2 1.5 cm y T3 intactas respectivamente. La germinación inició a los 22 días (d); la emergencia alcanzó 24, 26 y 0% a los 134 d; El índice de robustez del árbol a los 218 d en invernadero fue adecuada, con valor promedio de 3.7 para T1 y T2 ($p \geq 0.05$); el porcentaje de germinación a temperaturas constantes fue de 91, 94, 94 y 99% para T1 25, T4 40, T2 30 y T3 35 °C a los 25, 15, 15 y 13 d respectivamente. La emergencia con 89, 89, 92 y 98% a los 72 d. El índice de robustez del árbol a los 103 días fue adecuado, con diferencias estadísticas solo entre el tratamiento T1 25°C con 2.6 y T2 40, T3 35 y T4 40 °C con un promedio 3.6. La escarificación de la semilla estimula la germinación y emergencia en invernadero, mientras que la temperatura constante en germinadora, acelera la germinación y emergencia, resultando en árboles de calidad (índice de robustez) a los 218 y 103 días de establecidas para su germinación.

Palabras clave: Calidad de árbol; Escarificación de semilla; Índice de velocidad de germinación; Latencia; Temperatura.

GERMINATION, EMERGENCY AND INITIAL DEVELOPMENT OF THE TREE *Andira galeottiana* STANDL.

Óscar Santos Pérez Heredia. M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022.

ABSTRACT

Andira galeottiana Standl. shows physical latency, making it necessary to carry out germination experiments. The present study evaluated the effects of scarification and temperature on germination, stem emergence, and initial tree growth. Three scarification treatments were used: T1 100%, T2 at 1.5 cm from the micropyle, and T3 control with intact seeds; and four temperature conditions: T1 25, T2 30, T3 35 and T4 40 °C, with photoperiod 16:8 hours light-dark. A completely randomized experimental design and Tukey comparison of means were used. Seed scarification in the greenhouse showed no significant differences between treatments ($p \geq 0.05$) in germination, but did so with respect to the control, with 67, 55 and 0% for T1 100%, T2 1.5 cm, and T3 intact, respectively. Germination started at 22 days (d); emergence reached 24, 25 and 0% at 134 d. The robustness index of the tree at 218 d in the greenhouse was adequate, with an average value of 3.7 for T1 and T2 ($p \geq 0.05$). The germination percentage at constant temperatures was 91, 94, 94 and 99% for T1 25, T4 40, T2 30 and T3 35 °C at 25, 15, 15 and 13 d, respectively. Emergence was 89, 89, 92 and 98% at 72 d. The robustness index of the tree at 103 days was adequate, with statistical differences only between treatment T1 25 with 2.6 and T2 30, T3 35 and T4 40 °C with an average of 3.6. Seed scarification stimulates germination and emergence in the greenhouse, while the constant temperature in the germinator accelerates and emergence, resulting in quality trees (robustness index) at 218 and 103 days after established for germination.

Keywords: Tree quality; Seed scarification; Germination speed index; Dormancy, Temperature

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento del proyecto, al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo y al Postgrado de Botánica por su invaluable apoyo en este trabajo de investigación. También agradecer el apoyo de la comunidad de Rancho Nuevo, Tezonapa, Veracruz.

Al apoyo de mi consejero el Dr. Rodolfo García Nava, por estar siempre al pendiente de la investigación y aconsejarme cuando surgía alguna duda, ya que gracias a esto se pudo concluir el proceso.

Al Dr. Mario Luna Cavazos por su apoyo durante la presente investigación, y por su disponibilidad durante el desarrollo de la misma.

Finalmente agradezco la invaluable participación de la Dra. Carmen Ybarra Moncada, por su apoyo en la asesoría con el análisis de datos y su interpretación, la cual sin duda es un pilar fundamental del presente trabajo.

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mis padres, el señor Gerardo Pérez Flores y la señora María de Monserrat Heredia Acosta, a mis hermanos Dulce, Lucy, Gerardo, Enrique y Griselda, y a mi tío Marciano Pérez, por ser como un padre para mí. A todos ellos, por siempre motivarme a alcanzar mis metas y sueños, por el apoyo incondicional que me han brindado toda mi vida, por sus consejos y cariño.

A mis hijos Mateo Pérez Vargas y Melissa Chimalhua Mellado, que siempre se encuentran presentes en mi corazón y que fueron y son mi más grande inspiración para alcanzar este sueño, pues sin duda, lo hago por el infinito amor que les tengo a ustedes y a la tierra, y con esto espero contribuir como profesionalista forestal y como persona, en heredarles un mejor mundo donde vivir.

Finalmente le agradezco a mi esposa Jeniffer Ivette Vargas Abonce, quien, durante este tiempo juntos, me ha apoyado incondicionalmente, y que mutuamente compartimos metas que poco a poco vemos cumplirse.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA.....	vi
CONTENIDO.....	vii
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS E HIPOTESIS	3
2.1. Objetivos.....	3
2.2. Hipótesis	3
III. REVISION DE LITERATURA	4
3.1. Descripción de la especie	4
3.2. Calidad de semilla.....	5
3.3. Germinación	5
3.4. Embrión	6
3.5. Efecto de la temperatura en la germinación	6
3.6. Cubierta seminal	7
3.7. Latencia	7
3.8. Escarificación.....	9
3.9. Calidad de la planta	9
3.10. Variables Morfológicas de la planta	10
3.11. Relación entre variables de calidad de planta	11
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
4.1. Comunidad Rancho Nuevo	14
4.2. Fase de campo	14
4.2.1. Ubicación de árbol padre	14
4.3. El estudio se divide en dos etapas.....	16
4.4. Variables a evaluar	17
4.5. Embrión	19

4.6.	Análisis físico de semillas	19
4.6.1.	Mediciones externas de la semilla.....	19
4.7.	Peso de 1000 semillas.....	20
4.8.	Contenido de humedad.....	20
4.9.	Fase de laboratorio	20
4.10.	Diseño experimental	21
4.11.	Modelo estadístico	21
4.12.	Análisis estadístico	21
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
5.1.	Contenido de humedad.....	22
5.2.	Análisis físico de semillas	23
5.2.1.	Mediciones externas de la semilla.....	23
5.3.	Peso de semillas.....	24
5.4.	Embrión	24
5.5.	Efecto de la escarificación en la germinación en invernadero	25
5.5.1.	Porcentaje de Germinación (PG)	25
5.6.	Emergencia de plúmula en invernadero	27
5.7.	Altura a los 218 d.....	28
5.8.	Diámetro a los 218 d.....	29
5.9.	Índice de robustez a los 218 d	30
5.10.	Porcentaje de germinación (PG) a temperaturas constantes a los 23 d	31
5.11.	Índice de velocidad de germinación a los 13 d (IVG).....	33
5.12.	Porcentaje de emergencia de plúmula en condiciones de invernadero (PEP)	34
5.13.	Índice de velocidad de emergencia de plúmula (IVEP).....	36
5.14.	Altura del árbol a los 103 d	37
5.15.	Diámetro del árbol a los 103 d	38
5.16.	Índice de robustez a los 103 d (IR)	40
5.17.	Peso fresco y seco de árboles de <i>A. galeottiana</i> Standl a los 120 d de establecidas las semillas.....	41
5.17.1.	Peso fresco total (PFT)	41

5.17.2.	Peso seco total parte área y raíz (PST)	41
5.17.3.	Relación de la parte aérea y raíz (RPA/R)	42
5.17.4.	Peso seco de la parte aérea (PSPA).....	42
5.17.5.	Peso seco de la raíz (PSR)	42
5.17.6.	Peso seco de las hojas (PSH).....	43
VI.	CONCLUSIONES.....	44
VII.	LITERATURA CITADA.....	45

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Tipos de latencia (Baskin & Baskin 1998).	8
Cuadro 2. Intervalos de calidad para los atributos morfológicos evaluados de <i>A. galeottiana</i>	12
Cuadro 3. Contenido de humedad inicial del endospermo y testa de semillas de <i>A. galeottiana</i>	22
Cuadro 4. Contenido de humedad del endospermo y pericarpio de semillas de <i>A. galeottiana</i> después de cinco meses de almacenamiento.	23
Cuadro 5. Promedio de dimensiones de 1000 semillas con testa de <i>A. galeottiana</i>	23
Cuadro 6. Promedio de dimensiones de 500 semillas sin testa de <i>A. galeottiana</i>	23
Cuadro 7. Peso de 1000 semillas intactas y 500 escarificadas al 100 %.	24
Cuadro 8. Germinación de semillas escarificadas en invernadero a los 78 d de establecidos en condiciones de invernadero.	27
Cuadro 9. Emergencia de plúmula de semillas de <i>A. galeottiana</i> a los 134 d de establecidos en condiciones de invernadero.	28
Cuadro 10. Porcentaje de germinación final de semillas de <i>A. galeottiana</i> a diferentes temperaturas constantes a los 23 d de establecidos los tratamientos.	32
Cuadro 11. Índice de velocidad de germinación de semillas de <i>A. galeottiana</i> en condiciones constantes de temperatura a los 23 d de establecidos los tratamientos.	34
Cuadro 12. Emergencia de plúmula a los 72 d en condiciones de invernadero.	34
Cuadro 13. Índice de velocidad de emergencia de la plúmula a los 72 d en condiciones de invernadero. Las semillas provienen de germinación a temperaturas (25, 30, 35 y 40 °C).	36
Cuadro 14. Altura de árbol a los 103 d en invernadero (22±8 °C). Las semillas provienen de germinación a temperaturas constantes (25, 30, 35 y 40 °C).	37
Cuadro 15. Índice de robustez del árbol a los 103 d en invernadero (22±8 °C). Las semillas provienen de germinación a temperaturas (25, 30, 35 y 40 °C).	41

Cuadro 16. Peso seco de raíz a los 120 d establecido en el invernadero (22 ± 8 °C).
las semillas provienen de germinación a temperaturas (25, 30, 35 y 40
°C)..... 42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del municipio de Tezonapa, Ver. (Fuente: Google Earth).....	13
Figura 2. Distribución de <i>Andira galeottiana</i> en México (Pennington y Sarukhan, 2016).	13
Figura 3. Árbol de <i>A. galeottiana</i> con malla sombra para la recolección de semillas en Rancho Nuevo, Tezonapa, Veracruz (2020).	15
Figura 4. Árbol de <i>A. galeottiana</i> con frutos inmaduros a los 10 días del mes de septiembre de 2020.....	15
Figura 5. Medición de ancho con testa del fruto de Macayo (<i>A. galeottiana</i>).	19
Figura 6. Medición de largo de semilla escarificada de Macayo (<i>A. galeottiana</i>).	20
Figura 7 (a, b, c, d, e). Crecimiento del embrión de semillas de <i>A. galeottiana</i> a los 4 días de establecidas en condiciones de oscuridad a 35 °C.	25
Figura 8 (f, g, h). Semillas intactas (f), Escarificación 1.5 cm a partir de la zona micropilar (g) y Escarificación 100 % (h).	26
Figura 9. Germinación acumulada de semillas de <i>A. galeottiana</i> con 100 % de escarificación, con 1.5 cm de escarificación a partir del micrópilo y semillas intactas (testigo) en invernadero (18±8 °C). Durante un periodo de 78 d, letras diferentes indican diferencias significativas Tukey (p< 0.05).....	26
Figura 10. Emergencia de plúmula en invernadero (22±8 °C). Semillas de <i>A. galeottiana</i> con 100 % de escarificación, con 1.5 cm de escarificación a partir del micrópilo y semillas intactas (testigo). A los 134 d, letras diferentes indican diferencias significativas Tukey (p< 0.05).....	28
Figura 11. Altura de árboles de <i>A. galeottiana</i> en invernadero (22±8 °C). Semillas con 100 % de escarificación, con 1.5 cm de escarificación a partir del micrópilo y semillas intactas (testigo). A los 218 d letras diferentes indican diferencias significativas Tukey (p< 0.05).....	29
Figura 12. Diámetro de árboles de <i>A. galeottiana</i> en invernadero (22±8 °C) provenientes de semillas con 100 % de escarificación, con 1.5 cm de escarificación a partir del micrópilo y semillas intactas (testigo). A los 218 d letras diferentes indican diferencias significativas Tukey (p< 0.05).....	30

Figura 13 (i, j, k). Emergencia de plúmula en condiciones de invernadero (f), crecimiento en altura en condiciones de invernadero (g) e incremento en diámetro y altura de árboles de <i>A. galeottiana</i> en invernadero (h). (22±8 °C).....	31
Figura 14. Germinación acumulada de semillas de <i>A. galeottiana</i> a 23 días de establecidos los tratamientos a temperatura constante con fotoperiodo 16:8 h luz:oscuridad en germinadora. Letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p < 0.05$).....	32
Figura 15. (l, m, n). Germinación (l), crecimiento de la radícula (m, n) de semillas de <i>A. galeottiana</i> bajo condiciones constantes de temperatura en germinadora.	33
Figura 16. Emergencia de plúmula <i>A. galeottiana</i> en invernadero (22±8 °C). Las semillas provienen de germinación a temperaturas (25, 30, 35 y 40 °C). Letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p < 0.05$).....	35
Figura 17 (o, p, q). Emergencia de la plúmula y posterior crecimiento de la parte aérea y raíz en invernadero (22±8 °C).	36
Figura 18. Altura de árboles de <i>A. galeottiana</i> en invernadero a los 103 d (22±8 °C). Las semillas provienen de germinación a temperaturas (25, 30, 35 y 40 °C). Letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p > 0.05$).....	38
Figura 19. Diámetro de árbol <i>A. galeottiana</i> en invernadero a los 103 d (22±8 °C). Las semillas provienen de germinación a temperaturas (25, 30, 35 y 40 °C). Letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p < 0.05$).....	40

I. INTRODUCCIÓN

Andira galeottiana Standl. llamado Macayo, es una especie endémica de México, se distribuye en la vertiente del Golfo, desde el centro de Veracruz y el norte de Oaxaca, hasta Tabasco y Chiapas (Pennington y Sarukhan, 2016). La madera del macayo es utilizada localmente en mampostería para cimbra, carrocerías y leña (Gutiérrez y Dorantes, 2004), en la construcción de casas (Pennington y Sarukhan, 2016), y la corteza es utilizada como purgativo, vermífugo y antihelmíntico (Hastings, 1990). *A. galeottiana* es una especie de la vegetación asociada a humedales y manglares, representa un hábitat para la fauna silvestre, es un filtro natural de agua, proporciona protección contra la erosión eólica, y es usada en la reforestación y restauración de zonas riparias (Gutiérrez y Ricker, 2010). Es una especie promisoría en la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos (Ochoa *et al.*, 2011) y tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico en simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*, una característica de la familia Fabaceae, por lo que es altamente recomendada para sistemas agroforestales (Yañez, 2015).

A partir de 1998, *A. galeottiana* se encuentra catalogada como vulnerable en la Lista Roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2017). En México no está considerada bajo ninguna categoría de protección de acuerdo con la NOM-059-ECOL SEMARNAT 2010, sin embargo, *A. galeottiana* muestra un ritmo preocupante de pérdida poblacional encontrando relictos en ciertas regiones, entre ellas en la comunidad de Rancho Nuevo, Tezonapa, Veracruz.

Muchas especies de plantas superiores producen semillas cuyo tegumento externo es duro e impermeable al agua o a los gases. Esta característica es frecuente en varias familias de plantas, particularmente Fabaceae, Malvaceae y Bombaceae (Martínez, 2009).

La germinación es fundamental en la sobrevivencia de las poblaciones de plantas, y muchas especies desarrollan mecanismos como latencia, que les permite a las semillas permanecer por largos períodos de tiempo en el suelo hasta que las condiciones ambientales sean favorables para su establecimiento (Fenner y Thompson, 2005).

Las especies del bosque tropical están amenazadas por la alta deforestación, la cual tiene un impacto en la pérdida de biodiversidad y ha sido uno de los factores agravantes del cambio climático. La causa principal de la deforestación es el cambio de uso de suelo, por prácticas agrícolas, ganaderas y la extracción ilegal de madera (López, 2012). Una estrategia para la reforestación es la utilización de especies nativas, las cuales tienen como principal ventaja estar adaptadas al ambiente y tener mayor oportunidad de sobrevivir (Vargas, 2017).

El establecimiento de especies nativas, entre ellas *A. galeottiana*, en áreas degradadas como lo son suelos con cultivos de caña de azúcar establecidos a orillas de ríos de la región de Tezonapa, es una opción importante para contrarrestar el problema de pérdida de biodiversidad, erosión hídrica y eólica debido a los escurrimientos de agua, ya que estas pueden plantarse en las orillas de ríos y cuerpos de agua evitando la erosión. Las especies nativas contribuyen a la recuperación del suelo y en el establecimiento de flora y fauna nativa debido al hecho de que están bien adaptadas al ambiente. Además, con un manejo adecuado pueden brindar beneficios económicos y ecológicos (Moya-Roque y Tenorio-Monge, 2013). Sin embargo, existen limitaciones generales de las especies nativas para su uso debido a la ausencia de información técnica sobre la biología de la semilla y su manejo en vivero (Britos *et al.*, 2013), situación en la que se encuentra la especie en estudio.

Debido a la importancia ecológica de *A. galeottiana* y a la falta de información sobre la germinación de esta especie, es de interés para el presente estudio, proponer tratamientos pregerminativos que permitan obtener planta de calidad para programas de reforestación. Esta investigación es la base para que a mediano plazo se reintroduzca la especie en la comunidad de Rancho Nuevo, municipio de Tezonapa, específicamente al Predio “El Macayo” (N 18° 32′ 13″ W 96° 46′ 36″, 110 msnm).

II. OBJETIVOS E HIPOTESIS

2.1. Objetivos

- Evaluar el efecto de factores ambientales y escarificación en la germinación de semillas de *A. galeottiana*, mediante el porcentaje de germinación y características físicas de árboles en invernadero provenientes de las semillas germinadas
- Evaluar la germinación de semilla en invernadero, escarificando la testa al 100 % y a 1.5 cm a partir del micrópilo comparándola con semilla intacta.
- Estimar el efecto de temperaturas constantes 25, 30, 35 y 40 °C en la germinación de semilla, emergencia de plúmula e índice de velocidad de germinación (IVG) en germinadora.
- Valorar el efecto de la luz en la germinación de semilla.
- Medir el desarrollo (altura y diámetro), índice de robustez (IR), peso fresco total (PFT) y peso seco total (PST) de árboles en invernadero, provenientes de semillas germinadas a temperaturas constantes (25, 30, 35 y 40 °C).

2.2. Hipótesis

Efecto de la escarificación

- La escarificación estimula la germinación y emergencia de plúmula de semillas de *A. galeottiana* con respecto a las semillas testigo intactas.

Efecto de la temperatura

- La temperatura constante en germinadora aumenta el porcentaje, velocidad de germinación y emergencia de plúmula.
- Las temperaturas constantes previas de germinación estimulan un rápido desarrollo inicial de árboles, aumenta el índice de robustez, peso fresco y seco total en el invernadero.
- La semilla de *A. galeottiana* germina en luz y oscuridad.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Descripción de la especie

La clasificación taxonómica de *A. galeottiana* es la siguiente: (CONABIO, 2020).

Reino	Plantae
Phylum o división	Tracheophyta
Clase	Equisetopsida
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Género	<i>Andira</i>
Especie	<i>galeottiana</i>
Nombre científico	<i>Andira galeottiana</i> Standl.

Andira galeottiana Standl. es un árbol perennifolio de copa redondeada y densa que llega a medir hasta 25 m de altura, con diámetros de hasta 1 m a la altura del pecho (1.30 m); tronco recto y robusto; la corteza externa es escamosa, de color café rojizo, con grosor que va de los 5 a 15 mm. Hojas dispuestas en espiral, de 15 a 30 cm de largo, compuestas, cada hoja está formada por 2 a 3 pares de folíolos lanceolados y uno al término de la hoja, de color oscuro en el haz y verde rojizo en el envés. Las flores se disponen en racimos terminales, de hasta 50 cm de largo, flores papilionadas, con las alas juntas, con dos pétalos dominantes, todos de color rosa o violeta. Florece de marzo a junio (Pennington y Sarukhan, 2016), y fructifica de agosto a diciembre (Velázquez *et al.*, 2009).

Se desarrolla en climas cálidos húmedos, con precipitaciones altas que van de los 1500 a 3500 mm anuales, y temperaturas de 23 a 25 °C (Pennington y Sarukhan, 2016). Tiene afinidad por los sitios con abundancia de agua, por lo que se encuentra principalmente cerca de ríos, riberas de lagos y zonas inundables; se localiza en altitudes no mayores a los 150 m (Parker, 2008).

3.2. Calidad de semilla

La calidad de semilla comprende aspectos genéticos, fitosanitarios, físicos y fisiológicos, entre estos últimos se incluyen la viabilidad, germinación y el vigor. La semilla con alta calidad posee una mayor probabilidad de un buen establecimiento en campo de la plántula resultante (Pittcock, 2008). La calidad física involucra características tales como: contenido de humedad, peso de 1000 semillas y pureza (Moreno, 1996).

La calidad de semilla está determinada por la madurez fisiológica, que es la etapa de desarrollo de la semilla en la que se alcanza la mayor acumulación de materia seca, y es cuando ocurre la máxima germinación y vigor. A partir de esta etapa inicia el deterioro de las semillas (Bewley *et al.*, 2013). Un mayor peso y por tanto tamaño de las semillas logran una mayor germinación y crecimiento inicial de plántula en altura y diámetro de tallo que las semillas pequeñas, lo que se relaciona con una mayor cantidad de nutrientes de reserva (Lopes & Fagundes 2014). La masa de la semilla es un factor que afecta positivamente la germinación, el alargamiento y el crecimiento de las plántulas (Cordazzo, 2002 y Moegenburg, 1996).

3.3. Germinación

La germinación comienza con absorción de agua por la semilla (imbibición) y termina con la protrusión de la radícula, a través de las estructuras que lo rodean como la testa o pericarpio (Bewley *et al.*, 2013). Los principales eventos que conducen a la germinación se llevan a cabo en tres fases: a) imbibición, b) activación del metabolismo y c) germinación (protrusión de la raíz a través de la cubierta) (Guzmán *et al.*, 2013), y está regulada por factores ambientales como la temperatura, agua, gases y luz (Hartmann *et al.*, 2011 y Bewley *et al.*, 2013). La semilla es una unidad reproductiva compleja, característica de las plantas vasculares superiores, se forma a partir del óvulo vegetal, generalmente después de la fecundación. Se encuentra en las plantas con flores angiospermas y gimnospermas. En las angiospermas los óvulos se desarrollan dentro de un ovario, que posteriormente se convierte en las capas de la cubierta de la semilla (Martínez, 2009). En referencia a los requerimientos de luz necesarios para el proceso de germinación, las semillas se clasifican en tres grupos. En el primero se encuentran

las semillas fotoblásticas positivas, las cuales germinan como respuesta a la luz. El segundo grupo está compuesto por semillas fotoblásticas negativas, en él las semillas sólo germinan en oscuridad. En el tercer grupo están las semillas insensibles a la luz, que germinan indistintamente bajo condiciones de luz u oscuridad (Takaki, 2001).

3.4. Embrión

Está compuesto por un eje embrionario, en cuyos extremos se encuentra una radícula y una plúmula, más uno o dos cotiledones. Tiene su origen en la fusión de un núcleo generativo del grano de polen con la ovocélula que se encuentra en el saco embrionario (Megías, 2018). De acuerdo con Delouche, 2002, el proceso de germinación se puede caracterizar en tres fases que son: la entrada de agua a la semilla, que le permite reiniciar la actividad metabólica de respiración, síntesis de proteínas, movilización de nutrientes y termina con el crecimiento de la radícula que emerge al exterior.

3.5. Efecto de la temperatura en la germinación

Entre los factores ambientales que estimulan la germinación de una semilla, se encuentran principalmente la humedad del sustrato, temperatura, luz, oxígeno y dióxido de carbono (Probert, 2000) y que influyen tanto sobre el porcentaje como la velocidad de germinación de semillas siendo específicos para cada especie (Bewley *et al.*, 2013).

El efecto de la temperatura sobre la germinación está relacionado con las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas, tasa de absorción de agua y el transporte de las sustancias de reserva que ocurren en la semilla tras su imbibición (Rajjou *et al.*, 2012; Probert 2010). La germinación de semillas se produce dentro de ciertos intervalos de temperatura según la especie (Finch-Savage, 2004). Bewley *et al.*, 2013 mencionan que, para cada tipo de semillas, existe una temperatura mínima y máxima en que ocurre la germinación, así como el punto en el que se obtiene la mayor velocidad y porcentaje de germinación, que corresponde a la temperatura óptima. Baskin *et al.*, 2000 comentan que en relación con las semillas que poseen latencia física germinan bajo amplias condiciones de luz y temperatura una vez que son escarificadas natural o artificialmente. *A. galeottiana* proviene de clima tropical, el rango de

temperatura de Tezonapa es de 18 a 26 °C y una precipitación de 2 400 a 3 100 mm por año INEGI, 2005.

3.6. Cubierta seminal

La cubierta se origina principalmente a partir de los tegumentos interno y externo del rudimento seminal, los cuales se convertirán en el tegmen y la testa de la semilla, respectivamente. En leguminosas, la cubierta está formada por capas externas que incluyen macro y osteoesclereidas y parénquima. El tegmen es normalmente delgado y flexible, mientras que la testa es dura e impermeable al agua (Megías, 2018). En otros casos, cuando las semillas permanecen encerradas en un pericarpio sólido, como aquenios o nueces, o cuando la testa se fusiona fuertemente con el pericarpio, como en las cariópsides, se habla de semillas falsas que son en verdad frutos pues hay otras estructuras formando parte del disemínulo (Bernal, 1999). El exocarpo recubre al fruto y el endocarpo a la semilla (Megías, 2018).

3.7. Latencia

Una semilla latente es aquella que no germina y es viable en un período de tiempo específico en condiciones óptimas de oxígeno, temperatura, luz / oscuridad y humedad (Baskin y Baskin, 2008 & Smith *et al.*, 2010). La latencia impuesta por las capas y propiedades de los tejidos de cobertura son determinantes: estas incluyen características mecánicas, químicas y de permeabilidad, las cuales pueden interferir o suprimir la culminación exitosa de la germinación por el embrión. Por lo tanto, en el caso de latencia impuesta por tejidos que rodean al embrión (por ejemplo, endospermo, testa, pericarpio u órganos extraflorales) la escarificación es suficiente para promover la germinación (Bewley, 2013). La presencia de latencia física ha sido descrita en 17 familias de angiospermas, incluyendo a las fabáceas (Baskin & Baskin, 1998). Según Morrison *et al.* (2002) las semillas de la familia fabaceae presentan una testa normalmente gruesa, dura e impermeable, requiriendo para su germinación una degradación parcial o total de dicha cubierta, algunas semillas han germinado después de más de 40 años debido a la latencia impuesta por la cubierta. En México, Sánchez (2016) reporta latencia física y el efecto positivo de la escarificación en la germinación de semillas de *Caesalpinia platyloba*

S. Watson (Fabáceae) de bosques tropicales caducifolios en el municipio de El Fuerte, Sinaloa, mediante tratamientos pre germinativos como escarificación con lija, inmersión en H₂SO durante uno, tres, cinco y 10 min, e inmersión en agua caliente (60 °C) por cinco min y 10 min, siendo el tratamiento escarificación con lija el que alcanzó el mayor porcentaje de germinación con 30 % con respecto al testigo con 3.3 %. Baskin & Baskin, 1998 reportan la clasificación de la latencia (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tipos de latencia (Baskin & Baskin 1998).

Tipo	Causa	Ruptura	
Latencia endógena	Fisiológica	Mecanismo de inhibición fisiológica (MIF) de la germinación.	Estratificación templada o fría.
	Morfológica	Embrión no desarrollado.	Condiciones apropiadas para el crecimiento o germinación del embrión.
	Morfo fisiológica	MIF de germinación y embrión no desarrollado.	Estratificación templada o fría.
Latencia exógena	Física	Cubierta de la semilla impermeable al agua.	Abertura de la testa
	Química	Inhibidores de la germinación.	Lixiviación.
	Mecánica	Estructuras leñosas limitan el crecimiento.	Estratificación templada o fría.

Latencia exógena: Retraso en la germinación debido a las propiedades físicas y químicas de las cubiertas seminales (Baskin & Baskin 1998).

Latencia física: es causada por una o más capas de células empalizadas impermeables al agua, en la capa de la semilla o del fruto (Baskin *et al.*, 2000). La ruptura de la latencia física en semillas implica la formación de una abertura a través del cual el agua se mueve hacia el embrión (Baskin *et al.*, 2000). Para acelerar la germinación el pericarpio o la testa pueden ser eliminados manualmente o sometidos a varios tipos de tratamiento térmico (Baskin *et al.*, 2000).

3.8. Escarificación

La mayoría de las especies que habitan en los bosques tropicales tienen semillas con latencia física (Khurana & Singh, 2001, Baskin & Baskin, 2013). El intercambio de oxígeno y humedad entre el embrión y el ambiente, se mejora al debilitar la cubierta tegumentaria; una alternativa para la ruptura de este tipo de latencia es la escarificación de las semillas, mediante tratamientos pregerminativos, como la escarificación mecánica, química o calor seco o húmedo (Baskin y Baskin, 1998), Oliveira *et al.*, 2007, Bushman *et al.*, 2015).

La escarificación mecánica consiste en la fricción de cualquier material abrasivo sobre la semilla; por lo general, se emplea desde papel lija, arena gruesa o con un corte en la testa (Atencio *et al.*, 2003). Pérez (2008), menciona que la escarificación mecánica consiste en causar daño en la testa de la semilla sin dañar el embrión; mediante el contacto con superficies abrasivas, o bien escarificar completa o parcialmente la testa de las semillas utilizando diversos métodos y materiales como tractos digestivos de animales, lijas y altas temperaturas.

3.9. Calidad de la planta

La calidad de planta se define como la capacidad que tienen las plantas para desarrollarse en condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación, y depende de las características genéticas del germoplasma y de las técnicas utilizadas para su reproducción en vivero (Prieto *et al.*, 2009). Por su parte García (2007) indica que una planta de buena calidad debe presentar características como diámetro basal grande, bajo valor del coeficiente de robustez, un sistema radical fibroso y un bajo cociente de la relación biomasa aérea y de raíz.

La calidad de planta se estima mediante parámetros morfológicos como altura, diámetro y acumulación de materia seca, y fisiológicos como potencial hídrico y concentración de nutrientes, que ayudan a predecir si los individuos sobrevivirán, se establecerán, crecerán y se desarrollan vigorosamente en el sitio de plantación final (Rodríguez, 2008 & Escobar, 2019). Una planta con diámetro de 4 a 6 mm a la altura del cuello tiene más

probabilidades de tener una lignificación adecuada, mayor cantidad de carbohidratos, yemas para rebrotes y un sistema radicular desarrollado (Rodríguez, 2008).

La calidad de la planta es uno de los factores que condicionan el éxito de la plantación, algunas de las características que debe tener una planta producida en vivero para que se considere de calidad antes de plantarse en campo son: en latifoliadas, un diámetro mínimo de 4 mm y una altura de 35 cm, buena integridad, la cual se refiere a plantas completas, sin daños físicos o mecánicos, que no se doblen con su propio peso y aspectos sanitarios como estar libre de plagas y enfermedades y de aspecto vigoroso (CONAFOR, 2010). Los atributos morfológicos más usados son: diámetro (D), altura (A), peso seco total (PST), peso seco de la parte aérea (PSA) y peso seco de la raíz (PSR) (Escobar & Rodríguez, 2019). Una planta de calidad debe tener una relación PSA/PSR baja, para aumentar la posibilidad de sobrevivir; puesto que, al presentar una estructura radical bien desarrollada tendrá una mejor absorción de nutrientes y accesibilidad al agua (Escobar & Rodríguez, 2019).

La producción de biomasa en la calidad de planta es importante debido a que refleja su desarrollo en vivero, una relación igual a uno significa que la biomasa aérea es igual a la subterránea; pero si el valor es menor a uno, entonces la biomasa subterránea es mayor que la aérea; al contrario, si el valor es mayor a uno, la biomasa aérea es mayor que la subterránea (Rodríguez, 2008). Por lo tanto, una buena relación de biomasa debe fluctuar entre 1.5 y 2.5 (Thompson, 1985). En México existen intervalos de calidad de planta para aspectos morfológicos y fisiológicos en algunas especies de coníferas mexicanas de crecimiento cespitoso y no cespitoso y de latifoliadas propuestas por Sáenz *et al.* (2010) modificado por Rueda *et al.* (2014).

3.10. Variables Morfológicas de la planta

- a) Diámetro a la altura del cuello. Es la característica de calidad más importante que permite predecir la supervivencia de la planta en campo; define la robustez del tallo y se asocia con el vigor y el éxito de la plantación. Plantas con diámetro mayor a 5 mm son más resistentes y tienen mayores probabilidades de sobrevivir (Prieto *et al.*, 2003 y Prieto *et al.*, 2009). Según Sáenz *et al.* (2014),

especies de pino producidas en tubetes o charolas de polietileno, con diámetro a la altura del cuello >5 mm son más resistentes después de la plantación.

- b) **Altura.** Útil para evaluar la calidad de planta, debido a que, a mayor altura, mayor cantidad de hojas por lo que la capacidad fotosintética aumenta y esto se refleja en el desarrollo de la raíz y en una mejor eficiencia en la utilización de los nutrientes, agua y anclaje al suelo. La altura es conveniente relacionarla con el diámetro del árbol (Mexal y Landis, 1990).

En diferentes estudios se ha encontrado que los brinzales (plantas de 0.50 a 1.30 m de altura) con diámetro mayor tienen tasas de supervivencia más altas y se indica que ésta aumenta de 5 a 7 % por cada milímetro de incremento en el diámetro a la altura del cuello. Una supervivencia alta (> 80 %), se logra cuando las plantas tienen de 5 a 6 mm de diámetro a la altura del cuello (Mexal y Landis, 1990).

3.11. Relación entre variables de calidad de planta

Índice de robustez. Es la relación entre la altura (cm) y el diámetro a la altura del cuello de la raíz (mm), valores más bajos están asociados a una mejor calidad de la planta e indica que es más robusta y con tallo vigoroso; en cambio valores altos indican una desproporción entre el crecimiento en altura y el diámetro, como pueden ser tallos alargados con diámetros delgados (Prieto *et al.*, 2003 y Prieto *et al.*, 2009). La relación altura y diámetro (IR) es uno de los índices más comunes utilizados para determinar la calidad de la planta (Thompson 1985, Mexal y Landis 1990, Villar-Salvador 2003, Santiago *et al.*, 2007, Rueda *et al.*, 2014, Muñoz *et al.*, 2015 y Robles 2017) y se expresa de la siguiente manera

$$IR = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro cuello de la raíz (mm)}}$$

De acuerdo con Santiago *et al.* (2007), una planta de calidad de cedro rojo (*Cedrela odorata* L) debe presentar una relación altura-diámetro entre 5.5 a 6.0 Esta especie crece dentro los mismos parámetros ambientales que la especie en estudio (*A. galeottiana*). Existen intervalos de calidad para los atributos morfológicos y ciertos atributos fisiológicos de varias especies de coníferas mexicanas, que permiten clasificar la calidad

de pinos (cespitosos y de crecimiento normal) y especies latifoliadas, propuesto por Sáenz *et al.* (2010) y modificado por Rueda *et al.*, (2014); estos serán utilizados para determinar la calidad de planta de la especie en estudio *A. galeottiana* (cuadro 2).

Cuadro 2. Intervalos de calidad para los atributos morfológicos evaluados de *A. galeottiana*.

Variable	Calidad		
	Baja	Media	Alta
Altura (cm)	<12.0	12.0-14.9	≥15.0
Diámetro (mm)	<2.5	2.5-4.9	≥5.0
Índice de robustez	≥8.0	7.9-6.0	<6.0

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Las semillas fueron recolectadas en el mes de octubre de 2020 en Rancho Nuevo, Tezonapa, Veracruz, en la zona centro del estado (Figura 1), dentro del área de distribución natural de *A. galeottiana* en México (Figura 2). Las semillas recolectadas fueron resguardadas en bolsas de plástico transparentes calibre 0.1 mm de espesor y almacenadas en laboratorio en condiciones de oscuridad a temperatura ambiente 20 ± 3 °C en Texcoco, Estado de México transcurriendo tres meses desde la recolecta a su utilización.

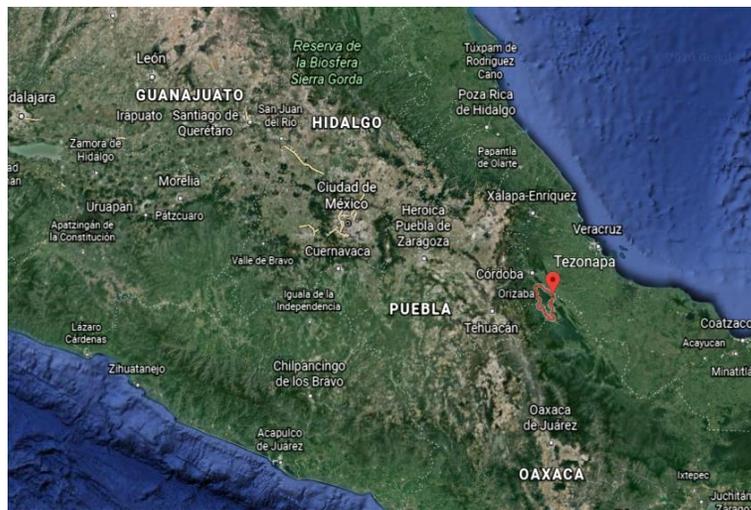


Figura 1. Ubicación del municipio de Tezonapa, Ver. (Fuente: Google Earth).



Figura 2. Distribución de *Andira galeottiana* en México (Pennington y Sarukhan, 2016).

4.1. Comunidad Rancho Nuevo

La comunidad de Rancho Nuevo es donde se localiza el árbol del que se recolectó la semilla ubicada en Tezonapa Veracruz, a una altitud de 120 m, ubicado en el centro del estado en las coordenadas N 18° 32'30'' y W 96° 47'02''. El predio se encuentra a 968 m del río Altotonga, tributario del río Tonto, que a su vez es afluente del río Papaloapan (Sistema de Información Municipal, 2018). Entre las especies forestales que forman parte de la vegetación se encuentran principalmente *Cedrela odorata* L., *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn, *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken, *Inga edulis* Mart., *Tabebuia rosea* (Bertol.) Bertero ex A.DC., *Croton draco* Schltdl. y *Pachira aquatica* Aubl.

4.2. Fase de campo

4.2.1. Ubicación de árbol padre

El árbol se seleccionó con base en la cantidad de semillas que contenía al momento de la visita de campo (septiembre de 2020), estimada en 1500 semillas.

El área de recolecta de la semilla es una zona inundable (arroyo), que es donde se localizan la mayoría de los árboles de esta especie, aunque también fue posible localizar algunos árboles relativamente alejados de los cuerpos de agua, los cuales presentaban buen vigor, por lo que su desarrollo no solo se restringe a zonas de ríos.

Al árbol seleccionado se le colocó una malla sombra del 70 % (Figura 3) debajo de frutos inmaduros (Figura 4) en la copa del árbol y a 1.50 m por arriba del suelo, esto con la finalidad de que la semilla a utilizar cayera en la malla y no tuviera contacto con el suelo

o río, ya que, por sus características flota y puede ser arrastrada por corrientes de agua de lluvias temporales. Las semillas se recolectaron el mes de octubre, mientras que todas aquellas semillas que se encontraron en el suelo, pertenecientes a años anteriores durante la recolección, se arrojaron al cauce del río para favorecer la dispersión (hidrócaría), con el fin de no confundir la semilla reciente en caso de que llegara a caer fuera de la malla. Las semillas se seleccionaron con base en un tamaño similar.



Figura 3. Árbol de *A. galeottiana* con malla sombra para la recolección de semillas en Rancho Nuevo, Tezonapa, Veracruz (2020).



Figura 4. Árbol de *A. galeottiana* con frutos inmaduros a los 10 días del mes de septiembre de 2020.

4.3. El estudio se divide en dos etapas

Etapla 1. Efecto de la escarificación de la semilla en la germinación y emergencia de plúmula (invernadero).

Esta etapa inició y concluyó en condiciones de invernadero. Se implementaron tres tratamientos: escarificación mecánica eliminado el 100 % de la testa (T1), escarificación a 1.5 cm a partir del micrópilo (T2), y un testigo sin escarificar (T3). Cada tratamiento estuvo compuesto por 100 semillas, divididas en cuatro repeticiones de 25 semillas cada una. La escarificación se hizo mediante un corte transversal en la testa de semillas de *A. galeottiana* con un taladro eléctrico marca Power craft 600W y una sierra circular de (10 cm diámetro). Posteriormente fueron tratadas con agua y cloro al 1 % durante 15 min y sembradas en un sustrato compuesto por peat moss - perlita (60:40) en condiciones de invernadero y una temperatura promedio de (18.5 ±8 °C).

El registro de datos de la germinación se realizó los días 22, 30, 40, 50 y 78 después del establecimiento y emergencia a los 134 d. Las semillas se germinaron en charolas (largo: 38 cm, ancho: 29 cm y alto: 6.5 cm). Se consideró semilla germinada una vez que la radícula alcanzó un cm de largo, y semilla emergida una vez que la plúmula rompió la pared del endospermo, la altura y diámetro se registró por 218 d.

Etapla 2. Efecto de la temperatura constante en la germinación y posterior emergencia y desarrollo inicial de árboles de *A. galeottiana* en invernadero.

La primera parte de la Etapa 2 se realizó en una germinadora y la última parte en un invernadero. Con base en los resultados de la Etapa 1, la semilla se escarificó al 100 % y fue tratada con fungicida Captan (1 g de Captan L⁻¹ de agua por 10 min). Posteriormente, la semilla se colocó en la germinadora (Seedburo ®) a temperatura constante (25, 30, 35 y 40 °C) y 16:8 h luz:oscuridad. Así como otro tratamiento a 35 °C en condiciones de oscuridad. La germinación se evaluó a los 7, 10, 13, 15, 17, 19, 21 y 23 d después del establecimiento. Las semillas germinadas fueron sembradas en bolsas de polietileno negras (15 x 25 cm) y sustrato de perlita humedecido previamente con agua destilada solo una vez y ubicadas en un invernadero a una temperatura promedio de (20.7 ± 8°C). Las semillas germinadas fueron regadas a saturación en invernadero

cada cinco días con agua corriente. La emergencia se evaluó en invernadero a los 7, 12, 17, 22, 27, 32, 37, 42, 47, 52, 57, 62, 67 y 72 d. Se registró el diámetro y altura a los árboles a los 26, 33, 40, 47, 54, 61, 68, 75, 82, 89, 96 y 103 d después de la siembra. Una vez que los árboles alcanzaron los 120 d, se realizó el análisis destructivo con una intensidad del 10 % para evaluar la acumulación de materia seca en árboles de *A. galeottiana*.

4.4. Variables a evaluar

Porcentaje de germinación (PG). Se contabilizó el número de semillas germinadas totales y se relacionó con el número de semillas establecidas al inicio del experimento, mediante la ecuación (Deaquiz-Oyola y Burgos-Avila, 2015).

$$Pg = \frac{\text{semillas germinadas}}{\text{semillas sembradas}} \times 100$$

Índice de velocidad de germinación (IVG): Se refiere a la relación del porcentaje de germinación por día y se obtuvo por medio del registro final de semillas germinadas y posteriormente se calculó mediante la expresión propuesta por Maguire (1962):

$$IVG = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{N_i}$$

En donde:

IVG: índice velocidad de germinación

X_i : número de plántulas germinadas por día

N_i : número de días después de la siembra

n : número de días totales

Porcentaje de emergencia de plúmula (PEP): se utilizó el mismo procedimiento que porcentaje de germinación, se contabilizó el número de semillas con emergencia de plúmula totales y se relacionó con el número de semillas establecidas al inicio del experimento, mediante la ecuación

$$PEP = \frac{\text{semillas emergidas}}{\text{semillas sembradas}} \times 100$$

Índice de velocidad de emergencia de plúmula (IVEP): se utilizó el mismo procedimiento que el Índice de velocidad de germinación (IVG), se obtuvo por medio del conteo final de semillas emergidas y posteriormente se calculó mediante la expresión:

$$IVEP = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{N_i}$$

En donde:

IVEP: índice de velocidad de emergencia de plúmula

X_i : número de plántulas emergidas por día

N_i : número de días después de la siembra

n : número de días totales

Diámetro (D): registrado a la altura del cuello de la raíz en mm con un vernier digital marca Truper cada siete días a partir de la emergencia.

Altura (A): evaluado con una regla graduada en cm desde la base del cuello de la raíz a la yema apical.

Índice de robustez (IR): Es la relación entre la altura (cm) y el diámetro a la altura del cuello de la raíz (mm).

Se llevó a cabo un análisis destructivo con una intensidad del 10 % de árboles por tratamiento de temperatura constante de la etapa 2 y secadas a 90 °C en una estufa marca precision scientific co[®]. La selección de árboles se realizó al azar mediante la función *sample* del programa estadístico Rstudio para evaluar las variables reportadas a continuación.

Peso fresco total (PFT): peso fresco de hojas y raíz determinada en una báscula de precisión marca precisa[®].

Peso seco total (PST).

Relación parte aérea/raíz (RPA/R).

Peso seco de la parte aérea (PSA).

Peso seco de hojas (PSH).

Peso seco de la raíz (PSR).

4.5. Embrión

Se identificaron las estructuras que componen el embrión de semillas de *A. galeottiana*, así como su crecimiento hasta la emergencia de la parte aérea a temperatura constante de 35 °C en condiciones de oscuridad. Se diseccionaron longitudinalmente en la zona micropilar 5 semillas a los 0, 1, 2, 3 y 4 d después de ser colocadas en germinación para identificar el eje embrionario.

4.6. Análisis físico de semillas

4.6.1. Mediciones externas de la semilla

Se realizó la medición de largo, ancho y espesor de 1000 semillas de *A. galeottiana* con pericarpio (Figura 5) y 500 sin pericarpio (Figura 6) con un vernier marca Truper ®.



Figura 5. Medición de ancho con testa del fruto de Macayo (*A. galeottiana*).



Figura 6. Medición de largo de semilla escarificada de Macayo (*A. galeottiana*).

4.7. Peso de 1000 semillas

Se utilizaron 10 grupos con 100 semillas con testa cada uno, seleccionadas al azar. Se pesó cada grupo y se sumó hasta obtener el peso total de 1000 semillas (Ista, 2012).

4.8. Contenido de humedad

Se determinó el contenido de humedad de la semilla colocando individualmente seis semillas (testa y endospermo) en envases de aluminio a una temperatura constante de 90 °C en una estufa marca precision scientific co por tres días hasta obtener el peso constante. El peso se calcula con base al peso fresco inicial y se expresa con la siguiente fórmula (Bonner *et al.*, 1994).

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso seco}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

4.9. Fase de laboratorio

Los experimentos se realizaron en el laboratorio e invernaderos del Posgrado de Botánica del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo entre los meses de enero a junio de 2021.

4.10. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DECA) y el análisis de varianza se realizó con el programa estadístico Rstudio, los resultados fueron analizados con la prueba de comparación de medias Tukey ($p < 0.05$).

4.11. Modelo estadístico

Los datos obtenidos se capturaron en una hoja de cálculo del Software Microsoft® Excel para su análisis y se usó el siguiente modelo estadístico (Infante y Zárate, 2012).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

i: 1,2,...,t, donde t es el número de tratamientos

j: 1,2,...,r, donde r es el número de repeticiones

Y_{ij}: Variable de respuesta correspondiente al tratamiento i en la repetición j

μ : efecto de la media general

τ_i : efecto atribuido al tratamiento j

ε_{ij} : error experimental

4.12. Análisis estadístico

Debido a que el porcentaje de germinación es una variable binomial la cual no cumple con los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas (Heinze y Schemper, 2002). Los datos fueron transformados mediante la función Box Cox en el programa estadístico Rstudio.

Esta transformación tiene la finalidad de normalizar la distribución de los datos, además de estabilizar las varianzas.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Contenido de humedad

El contenido de humedad inicial en promedio de seis endospermos fue de 49.8 %, mientras que en el pericarpio fue de 25.2 % respectivamente (Cuadro 3), las pruebas se realizaron en diciembre de 2020, después de un mes desde su recolección en campo. El contenido de humedad en la semilla de *A. galeottiana* se podría considerar alto, y esto es característico de semillas recalcitrantes. Herrera *et al.*, 2006 reportan contenidos de humedad de (4.8, 10.5, 21.3, 26.3 y 40.3% en *Calophyllum brasiliense*), donde se alcanzó el mayor porcentaje con 63 % de germinación final con un contenido de humedad de 40.3 %. Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos del presente estudio, ya que la semilla de *A. galeottiana* presenta altos porcentajes de germinación con contenidos altos de humedad, sin embargo, es necesario realizar las pruebas correspondientes de secado para clasificarla como semilla ortodoxa, intermedia o recalcitrante.

Cuadro 3. Contenido de humedad inicial del endospermo y testa de semillas de *A. galeottiana*.

Número de semillas 6	Contenido de humedad (%)	sd	c.v	var
Endospermo	49.8	3.19	0.06	10.2
Testa	25.2	5.2	0.20	27.1

sd: desviación estándar, c.v: coeficiente de variación, var: varianza.

El contenido de humedad final de las semillas después de cinco meses de almacenamiento en oscuridad fue de 42.1 % (Cuadro 4), disminuyendo 7.5 % con respecto a valor inicial antes del almacenamiento (49.8 %), conservando su viabilidad con porcentajes de hasta 95 % de germinación en condiciones de oscuridad.

Cuadro 4. Contenido de humedad del endospermo y pericarpio de semillas de *A. galeottiana* después de cinco meses de almacenamiento.

Número de semillas	Contenido de humedad (%)	sd	c.v	var
Endospermo	42.1	1.7	0.04	2.9
Testa	23.5	0.5	0.02	0.2

sd: desviación estándar, c.v: coeficiente de variación, var: varianza.

5.2. Análisis físico de semillas

5.2.1. Mediciones externas de la semilla

El Cuadro 5 reporta las medidas de largo, ancho y espesor de 1000 semillas intactas con testa.

Cuadro 5. Promedio de dimensiones de 1000 semillas con testa de *A. galeottiana*.

Variable	Media (cm)	sd	c.v	var
Largo	8.2	2.90	0.03	8.42
Ancho	6.2	1.42	0.02	2.01
Espesor	5.3	1.56	0.02	2.44

sd: desviación estándar, c.v: coeficiente de variación, var: varianza.

El Cuadro 6 reporta las medidas de largo, ancho y espesor de 500 semillas sin testa.

Cuadro 6. Promedio de dimensiones de 500 semillas sin testa de *A. galeottiana*.

Variable	Media	sd	c.v	var
Largo (cm)	6.3	1.83	0.02	3.35
Ancho (cm)	4.0	0.42	0.01	0.18
Espesor (cm)	3.2	0.73	0.24	0.54

sd: desviación estándar, c.v: coeficiente de variación, var: varianza.

Para la obtención de planta de calidad en vivero es fundamental la selección por tamaño de la semilla (Bautista *et al.*, 2003), ya que se relaciona con la cantidad de nutrientes de reserva y la calidad de planta.

5.3. Peso de semillas

El peso de 1000 semillas intactas y 500 semillas escarificadas al 100 % de *A. galeottiana* se determinó en 92.6 y 51.8 kilogramos respectivamente (Cuadro 7).

Cuadro 7. Peso de 1000 semillas intactas y 500 escarificadas al 100 %.

Variable	Peso (kg)	sd	c.v	var
1000 semillas	92.6	0.85	0.09	0.73
500 semillas	51.8	0.48	0.30	0.15

sd: desviación estándar, c.v: coeficiente de variación, var: varianza.

5.4. Embrión

La Figura 7 muestra el desarrollo del embrión visto al microscopio 3x a los 4 d de establecidas las semillas en condiciones de oscuridad a 35 °C. Embrión en el día 0 (Figura 7 a), inicio de crecimiento del embrión en el día 1 (Figura 7 b), desarrollo del embrión en el día 3 (Figura 7 c), germinación y protrusión de radícula (Figura 7 d), y rompimiento del endospermo y emergencia por parte de la plúmula (tallo) (Figura 7 e).

1. Radícula
2. Plúmula
3. Eje embrionario
4. Endospermo

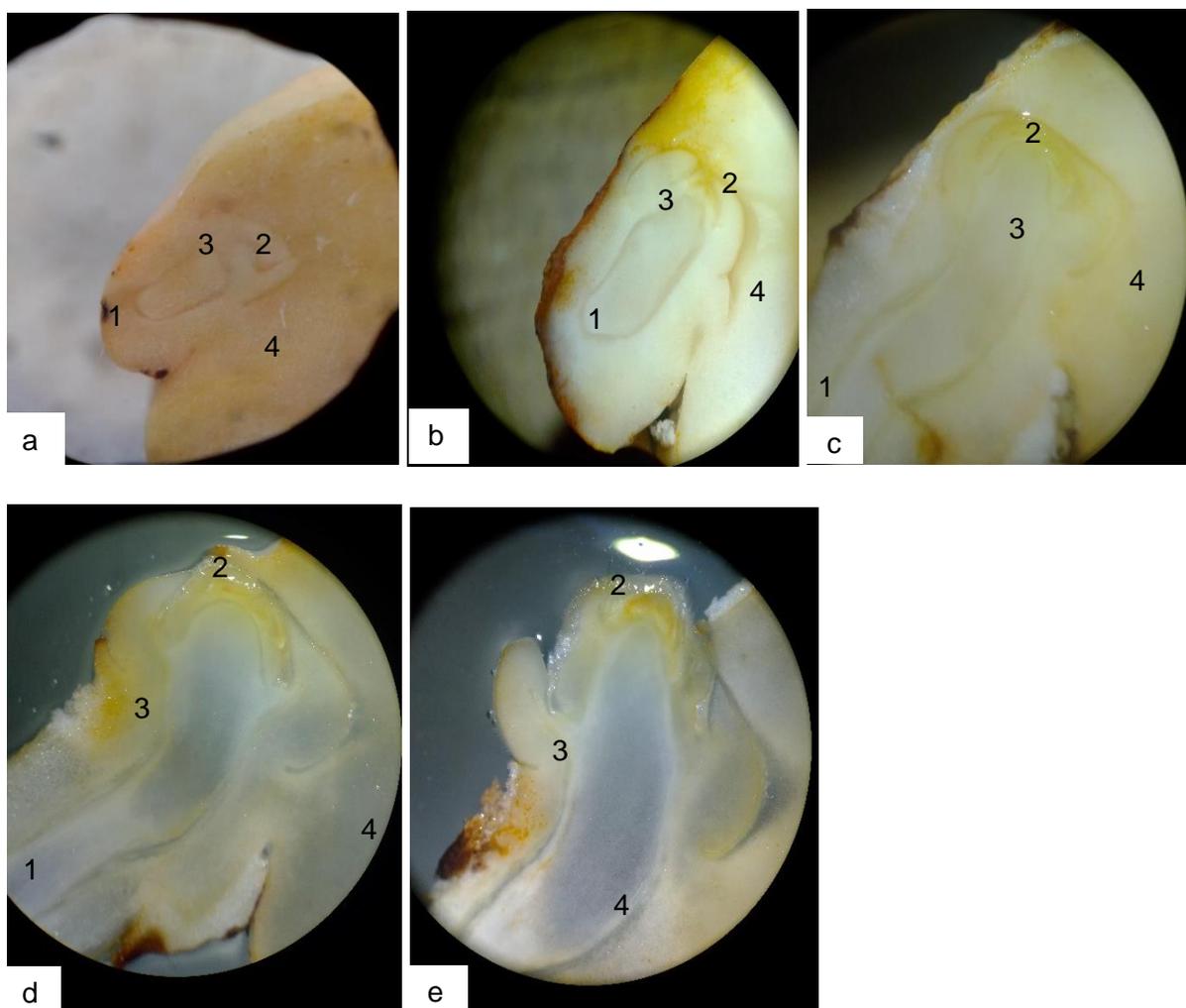


Figura 7 (a, b, c, d, e). Crecimiento del embrión de semillas de *A. galeottiana* a los 4 días de establecidas en condiciones de oscuridad a 35 °C.

5.5. Efecto de la escarificación en la germinación en invernadero

5.5.1. Porcentaje de Germinación (PG)

El análisis estadístico mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos de escarificación respecto al testigo, para la variable porcentaje de germinación a los 78 d de establecidos los tratamientos de escarificación (Figura 9), pasando de un 0 % de germinación final para el tratamiento T3 testigo sin escarificar (Figura 8 f), a un 55 % para el tratamiento T2 escarificación al 1.5 cm de la zona micropilar (Figura 8 g) y 67 % para el tratamiento T1 escarificación al 100 % (Figura 8 h). La germinación inició a los 22 d y alcanzó su mayor porcentaje a los 78 d de establecidas en invernadero (18.5 ± 8 °C). Las especies de la familia Fabaceae se caracterizan por presentar latencia física, como lo

reporta Atencio *et al.*, 2003 en semillas de (*Peltophorum pterocarpum*) la germinación alcanzó 92 % con escarificación mecánica (desgaste de testa con lija durante 20 min), y el tratamiento testigo (32 %). Sánchez *et al.*, 2017 reportan el efecto positivo de la escarificación mecánica con lija en semillas de la especie *Guaiacum coulteri* A Gray, con una germinación final del 86.7 % mientras que el testigo fue de 56 %. En *A. galeottiana* es más difícil romper la latencia física ya que la semilla del tratamiento testigo no germinó.



Figura 8 (f, g, h). Semillas intactas (f), Escarificación 1.5 cm a partir de la zona micropilar (g) y Escarificación 100 % (h).

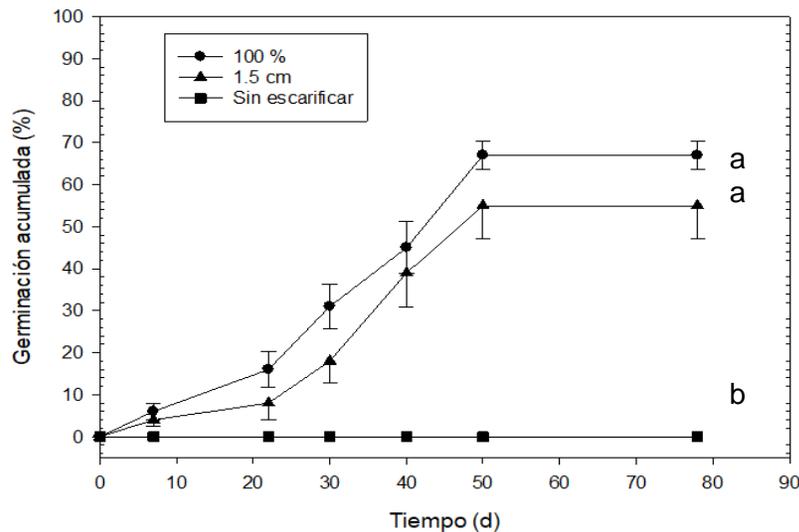


Figura 9. Germinación acumulada de semillas de *A. galeottiana* con 100 % de escarificación, con 1.5 cm de escarificación a partir del micrópilo y semillas

intactas (testigo) en invernadero (18±8 °C). Durante un periodo de 78 d, letras diferentes indican diferencias significativas Tukey (p< 0.05).

La comparación de medias Tukey no mostró diferencias significativas entre tratamientos de escarificación, pero si respecto al testigo en el cual las semillas no germinaron (Cuadro 8).

Cuadro 8. Germinación de semillas escarificadas en invernadero a los 78 d de establecidos en condiciones de invernadero.

Tratamiento	Germinación	error	cv	var	sig
Escarificación	(%)	estándar			
T1 100%	67	3.4	0.10	46.6	a
T2 1.5 cm	55	9.1	0.33	334.6	a
T3 testigo	0	0	0	0	b

cv: coeficiente de variación, var: varianza, sig: significancia (18.5±8 °C). Letras diferentes indican diferencias significativas Tukey (p< 0.05).

5.6. Emergencia de plúmula en invernadero

La emergencia de plúmula en invernadero fue de 26 % para las semillas del tratamiento T1 100 % de escarificación, 23 % para T2 1.5 cm de escarificación sin diferencias estadísticas entre estos tratamientos a los 134 d de establecido el experimento. El testigo sin escarificación obtuvo 0 % de emergencia, resultando significativamente inferior a los tratamientos con escarificación (Cuadro 9 y Figura 10). La emergencia de plúmula fue de alrededor 50 % con respecto a la germinación, esto posiblemente debido a las fluctuaciones en temperatura dentro del invernadero, ya que en el día se alcanzaban temperaturas de 35 °C y en la noche de 8 °C. Rendón *et al.*, 2002 evaluó el efecto de la escarificación en la germinación y emergencia de *Calophyllum pinetorum*, este autor reporta 59 % de germinación y emergencia de plúmula de 32 %, lo cual se asemeja a los resultados aquí obtenidos para *A. galeottiana*. La temperatura durante la etapa de emergencia de plúmula fue fluctuante con 22±8 °C por lo que posiblemente afectó este proceso, ya que la temperatura estimula la movilización de sustancias de reserva en la semilla que proporcionan al embrión la energía necesaria para que emerja la parte aérea (Probert, 2010). La emergencia de la parte aérea (plúmula) inició a los 71 d con (7 %) y

alcanzó su mayor porcentaje (26 %) a los 134 d de establecidas las pruebas de escarificación en condiciones de invernadero (Figura 10).

Cuadro 9. Emergencia de plúmula de semillas de *A. galeottiana* a los 134 d de establecidos en condiciones de invernadero.

Tratamiento	Emergencia (%)	Error estándar	c.v	var	sig
T1 100%	26	3.82	1.18	58.6	a
T2 1.5 cm	23	1.88	0.81	14.2	a
T3 testigo	0	0	0	0	b

Letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p < 0.05$). c.v: coeficiente de variación, var: varianza, sig: significancia.

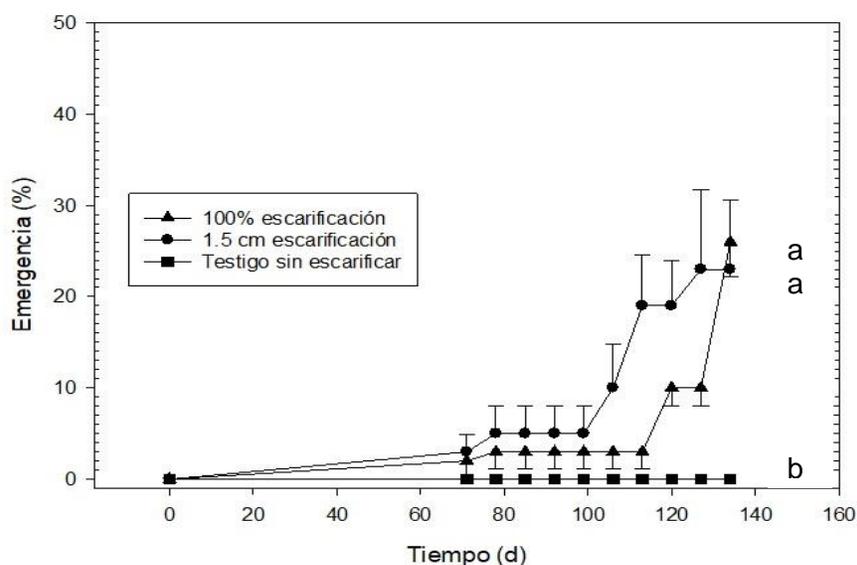


Figura 10. Emergencia de plúmula en invernadero (22 ± 8 °C). Semillas de *A. galeottiana* con 100 % de escarificación, con 1.5 cm de escarificación a partir del micrópilo y semillas intactas (testigo). A los 134 d, letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p < 0.05$).

5.7. Altura a los 218 d

Los árboles alcanzaron una altura promedio de 31.2 cm a los 218 d de establecidos los tratamientos de escarificación (100 % y 1.5 cm del micrópilo) en condiciones de invernadero (Figura 11), sin diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre tratamientos de escarificación. Las alturas alcanzadas indican una buena calidad de planta. Con respecto

a lo anterior CONAFOR (2010) establece para latifoliadas, que una altura de 20 a 25 cm es adecuada, lo cual permite competir por luz y espacio en condiciones naturales.

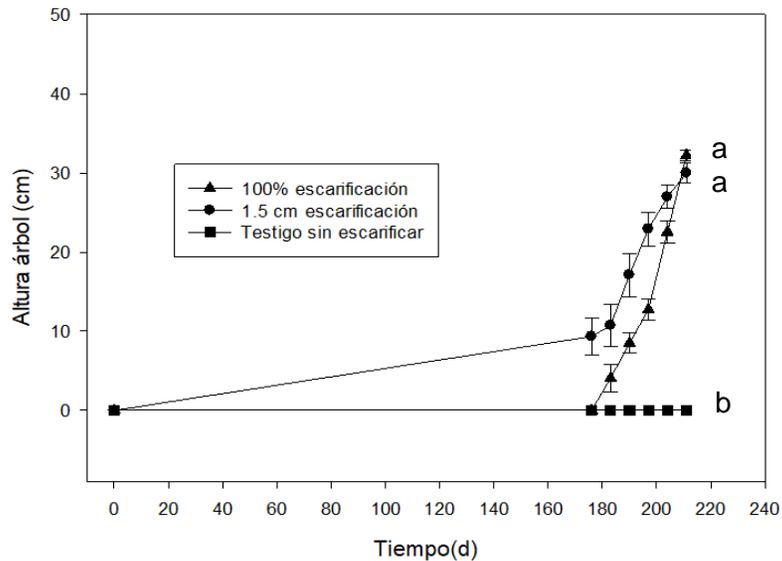


Figura 11. Altura de árboles de *A. galeottiana* en invernadero (22 ± 8 °C). Semillas con 100 % de escarificación, con 1.5 cm de escarificación a partir del micrópilo y semillas intactas (testigo). A los 218 d letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p < 0.05$).

5.8. Diámetro a los 218 d

El análisis estadístico no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos de escarificación (100 % y 1.5 cm a partir del micrópilo) en el diámetro de árboles a los 218 d de establecido el experimento (Figura 12). El diámetro de árboles originados de las semillas escarificadas fue de 8.4 mm en promedio a la altura del cuello; esta variable es una de las más importantes en la predicción de la supervivencia en campo. Rueda, (2014) indicó que diámetros iguales o superiores a cinco milímetros logran una buena calidad de planta. En el caso de *A. galeottiana*, los diámetros obtenidos a los 218 d se ajustan a los requerimientos morfológicos para su establecimiento en campo.

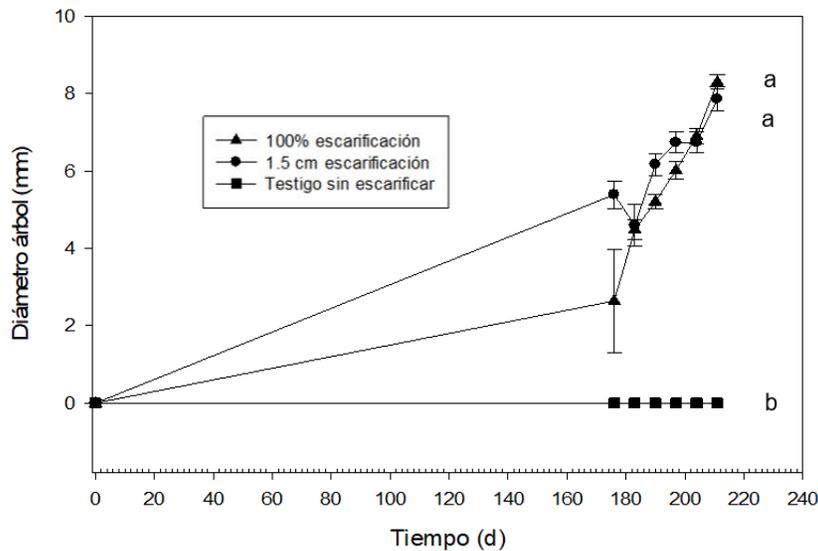


Figura 12. Diámetro de árboles de *A. galeottiana* en invernadero (22 ± 8 °C) provenientes de semillas con 100 % de escarificación, con 1.5 cm de escarificación a partir del micrópilo y semillas intactas (testigo). A los 218 d letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p < 0.05$).

5.9. Índice de robustez a los 218 d

El análisis estadístico para la variable índice de robustez no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos de escarificación; se obtuvo en promedio 3.7 mm a los 218 d de establecidos, estos índices indican una buena relación altura-diámetro según índices propuestos por Rueda *et al.*, 2014 para especies tropicales, los cuales se ajustan a las características morfológicas deseadas para programas de reforestación. Las semillas mostraron buen vigor, por lo que la plúmula no tuvo problema en romper el endospermo de la semilla (Figura 13 i), emergencia de plúmula (Figura 13 j) y el crecimiento en altura y diámetro del árbol (Figura 13 k).



Figura 13 (i, j, k). Emergencia de plúmula en condiciones de invernadero (f), crecimiento en altura en condiciones de invernadero (g) e incremento en diámetro y altura de árboles de *A. galeottiana* en invernadero (h). (22 ± 8 °C).

5.10. Porcentaje de germinación (PG) a temperaturas constantes a los 23 d

El análisis estadístico mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el tratamiento T3 35 (luz y oscuridad) y T1 25 °C, pero no entre T1 25, T2 30 y T4 40 °C (Cuadro 10). Los tratamientos T2 30, T3 35, T4 40 y T5 35 oscuridad, resultaron con un porcentaje promedio de 95.5 % de germinación, alcanzando su máximo porcentaje a los 15, 13, 15 y 13 días de establecidas en condiciones controladas respectivamente (Figura 14).

Villagra, 1995 reporta la temperatura óptima de germinación de especies de la familia fabáceae de *Prosopis argentina* Burkart y *P. alpataco* Phil que alcanzan su mayor porcentaje de germinación a 35 °C con 100 % de germinación para ambos casos a los 7 d, similar al obtenido por *A. galeottiana* para el tratamiento T3 35°C con 99 % y T3 35 °C oscuridad con 95 % de germinación a los 13 d. Para el caso de requerimientos de luz, el análisis estadístico no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos T3 35 °C Luz y T5 35 °C oscuridad alcanzando su mayor porcentaje a los 13 d en ambos casos (Cuadro 10). La respuesta de la germinación de semillas en condiciones de oscuridad fue positiva, ya que se alcanzó un 95 % de germinación final. La semilla de *A. galeottiana* pertenece al grupo de semillas fotoblásticas insensibles según la clasificación de Takaki (2001) ya que germinan indistintamente con o sin luz.

Cuadro 10. Porcentaje de germinación final de semillas de *A. galeottiana* a diferentes temperaturas constantes a los 23 d de establecidos los tratamientos.

Tratamiento	Germinación (%)	sd	c.v	var	sig
T3 35 °C Luz	99	41.0	0.79	1683.6	a
T5 35 °C Osc	95	41.5	1.00	1701.4	a
T2 30 °C Luz	94	42.2	1.29	1786.2	ab
T4 40 °C Luz	94	42.5	1.58	1801.1	ab
T1 25 °C Luz	91	39.2	1.24	1543.5	b

sd: desviación estándar, c.v: coeficiente de variación, var: varianza, sig: significancia. Letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p < 0.05$).

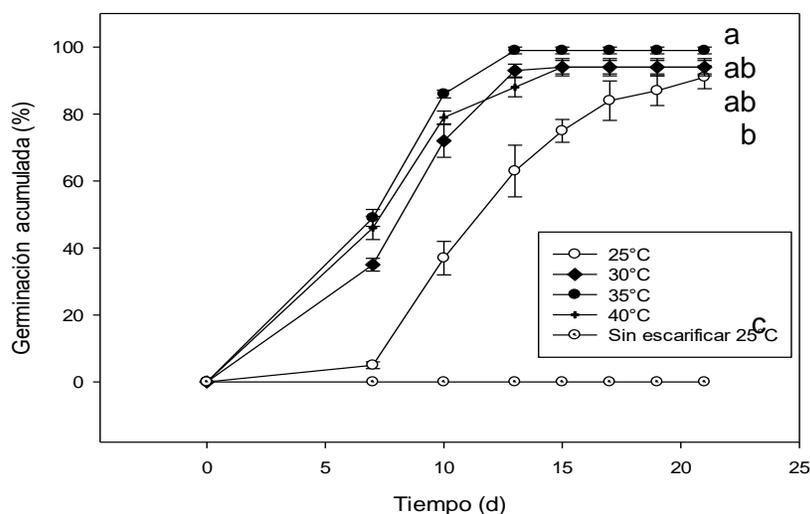


Figura 14. Germinación acumulada de semillas de *A. galeottiana* a 23 días de establecidos los tratamientos a temperatura constante con fotoperiodo 16:8 h luz:oscuridad en germinadora. Letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p < 0.05$).

La temperatura óptima de germinación según Popinigis (1985) incluye tanto el porcentaje como la velocidad de germinación. Algunos autores reportan temperaturas óptimas entre los 25 y 35 °C para cactus de la especie *Opuntia spp.* (Potter, 1984). Mientras que para árboles de *Zizyphus mistol* Grisebach II muestran intervalos de temperaturas óptimas de germinación entre los 25 y 35 °C constantes (Aráoz *et al.*, 2004). Una temperatura de 35 °C con fotoperiodo 16:8 horas luz:oscuridad estimuló la protrusión de la radícula los dos días (Figura 15 l), la germinación a los siete días (Figura 15 m) y el alargamiento de la

raíz a los 15 días de su establecimiento en condiciones controladas de temperatura (Figura 15 n).

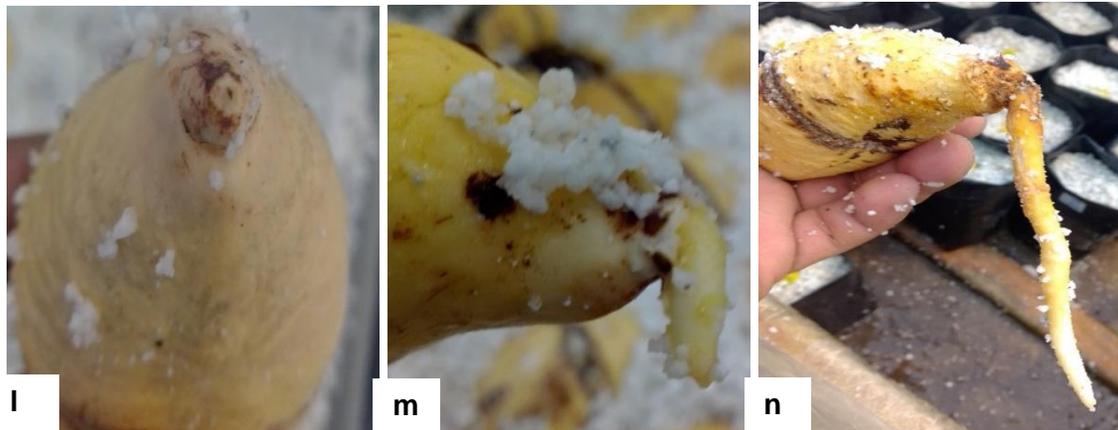


Figura 15. (l, m, n). Germinación (l), crecimiento de la radícula (m, n) de semillas de *A. galeottiana* bajo condiciones constantes de temperatura en germinadora.

5.11. Índice de velocidad de germinación a los 13 d (IVG)

La comparación de medias Tukey para la variable índice de velocidad de germinación no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre el tratamiento T3 35 °C luz y T5 35 °C oscuridad, mientras que la velocidad de germinación disminuye en las temperaturas de 30, 40 y 25 °C (Cuadro 11). Rajjou *et al.*, 2012 mencionan que las enzimas que regulan la velocidad del proceso de germinación se acelera con un aumento de la temperatura. El índice de velocidad de germinación se vio estimulado especialmente por los tratamientos T3 35 °C luz y T5 35 °C oscuridad con 1.9 y 1.8, que resultaron significativamente iguales y superiores en el IVG a los demás tratamientos.

La temperatura de 40 °C, no afecta el proceso de germinación en semillas de *A. galeottiana*, ya que se alcanzó un 94 % de germinación final y un IVG de 1.5, y que además no mostró diferencias estadísticas ($p > 0.05$) con el tratamiento T2 30 °C, pero si respecto al tratamiento T1 25 °C (Cuadro 11).

Cuadro 11. Índice de velocidad de germinación de semillas de *A. galeottiana* en condiciones constantes de temperatura a los 23 d de establecidos los tratamientos.

Tratamiento					
16:8 h luz:osc	IVG	sd	c.v	var	sig
T3 35 °C Luz	1.90	0.035	0.01	0.001	a
T5 35 °C Osc	1.89	0.070	0.05	0.009	a
T2 30 °C	1.56	0.865	0.05	0.007	b
T4 40 °C	1.56	0.097	0.04	0.004	b
T1 25 °C	1.00	0.061	0.06	0.003	c

Letras diferentes indican diferencias significativas. IVG: índice de velocidad de germinación, sd: desviación estándar, c.v: coeficiente de variación, var: varianza, sig: significancia, osc: oscuridad.

5.12. Porcentaje de emergencia de plúmula en condiciones de invernadero (PEP)

Los porcentajes de emergencia de plúmula mostraron diferencias significativas entre los tratamientos de germinación T3 35 °C respecto a T4 40 y T1 25 °C ($p>0.05$) (Cuadro 12) a los 72 d, iniciando la emergencia a los 7 d de establecidos los tratamientos, el mayor porcentaje de emergencia se alcanzó a los 72 d (Figura 16) con 98 % para T3 35, en tanto que los tratamientos T2 30, T1 25 y T4 40 °C, que resultaron significativamente iguales, reportan un promedio del 90 %.

Cuadro 12. Emergencia de plúmula a los 72 d en condiciones de invernadero.

Tratamiento con					
16:8 h luz:oscuridad	Emergencia (%)	sd	c.v	var	sig
T3 35 °C	98	7.5	0.08	57.33	a
T2 30 °C	92	7.3	0.07	53.33	ab
T4 40 °C	89	2	0.02	4	b
T1 25 °C	89	6	0.06	36	b

Letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p< 0.05$). sd: desviación estándar, c.v: coeficiente de variación, var: varianza, sig: significancia.

La temperatura constante durante la germinación en cámara y posterior acondicionamiento en invernadero aumenta el porcentaje y velocidad de emergencia de plúmula de semillas de *A. galeottiana* en comparación con semillas germinadas en condiciones de invernadero con temperaturas fluctuantes (etapa 1). Varias semillas lograron la emergencia de plúmula en cámara de germinación a los 7 d de establecidas las semillas en condiciones controladas de temperatura (Figura 17 o) para los tratamientos T2 30, T3 35 y T4 40 °C, alcanzando un 7%, 6% y 4% de emergencia de plúmula respectivamente. Posteriormente, el resto de las semillas finalizaron la etapa de emergencia en condiciones de invernadero a una temperatura promedio de 22 ± 8 °C (Figura 17 p) y el crecimiento inicial del árbol (Figura 17 q).

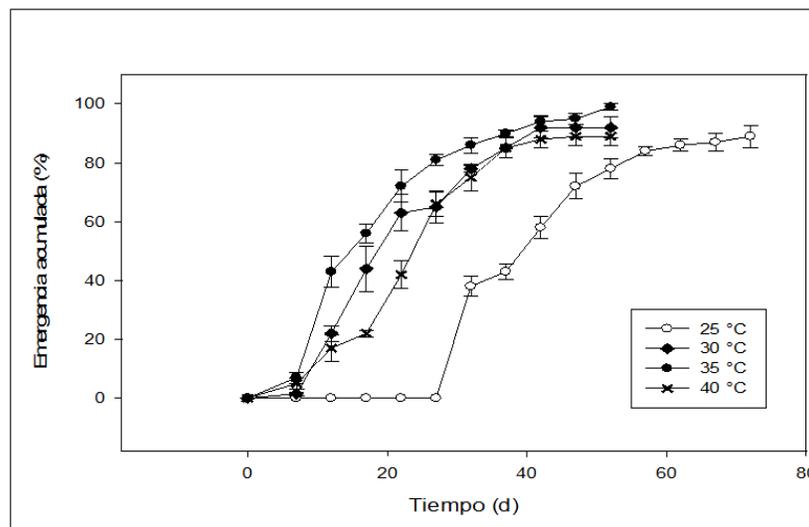


Figura 16. Emergencia de plúmula *A. galeottiana* en invernadero (22 ± 8 °C). Las semillas provienen de germinación a temperaturas (25, 30, 35 y 40 °C). Letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p < 0.05$).



Figura 17 (o, p, q). Emergencia de la plúmula y posterior crecimiento de la parte aérea y raíz en invernadero (22 ± 8 °C).

5.13. Índice de velocidad de emergencia de plúmula (IVEP)

Las semillas provienen de germinación a temperaturas (25, 30, 35 y 40 °C). El efecto de la temperatura en el índice de velocidad de emergencia de la plúmula IVEP (tallo) de semillas de *A. galeottiana* a los 72 d mostró diferencias significativas para el tratamiento T1 25°C con el IVEP más bajo, respecto a los tratamientos T2 30, T3 35 y T4 40 °C cuyo efecto resultó estadísticamente igual (IVEP promedio de 1.6%), todos en condiciones de invernadero (Cuadro 13).

Cuadro 13. Índice de velocidad de emergencia de la plúmula a los 72 d en condiciones de invernadero. Las semillas provienen de germinación a temperaturas (25, 30, 35 y 40 °C).

Tratamiento	IVEP	sd	c.v	var	sig
T3 35 °C	1.9	0.03	0.01	0.001	a
T2 30 °C	1.5	0.08	0.05	0.003	a
T4 40 °C	1.5	0.07	0.04	0.004	a
T1 25 °C	1.0	0.06	0.06	0.003	b

Letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p < 0.05$). IVEP: Índice de velocidad de emergencia de plúmula, sd: desviación estándar, c.v: coeficiente de variación, var: varianza, sig: significancia.

Al comparar la emergencia de plúmula de semillas germinadas en invernadero escarificadas al 100 % y 1.5 cm, se alcanzó el máximo porcentaje de germinación a los

134 d de establecidas las semillas, mientras que los tratamientos de temperatura constante en germinadora alcanzaron su máximo IVEP a los 72 d, con una disminución 62 d en el proceso de emergencia de la plúmula cuando las semillas se germinan con temperaturas constantes en germinadora (Cuadro 13).

5.14. Altura del árbol a los 103 d

El análisis estadístico para la variable altura de árbol a los 103 d que el efecto de los tratamientos de germinación previos a T2 30 °C y T3 35 °C es significativamente igual, sin embargo, el primero fue significativamente superior a T1 25 y T4 40 °C (Cuadro 14).

Cuadro 14. Altura de árbol a los 103 d en invernadero (22±8 °C). Las semillas provienen de germinación a temperaturas constantes (25, 30, 35 y 40 °C).

Tratamiento previo de geminación 16:8 h luz:osc	Altura (cm)	sd	c.v	var	sig
T2 30 °C	42.32	2.86	0.06	8.23	a
T3 35 °C	39.05	1.37	0.03	1.88	ab
T4 40 °C	37.02	1.45	0.03	2.10	b
T1 25 °C	36.72	1.66	0.04	2.76	b

Letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p < 0.05$). sd: desviación estándar, c.v: coeficiente de variación, var: varianza, sig: significancia, osc: oscuridad.

Los tratamientos T2 30 °C y T3 35 °C muestran los valores más altos, con una altura promedio de árbol de 40.7 cm a los 103 d de establecidas en cámara a temperaturas constantes (Figura 18) y desarrolladas posteriormente en perlita. Mientras que los árboles provenientes del tratamiento de germinación a T1 25 °C mostraron la media de altura más baja con 36.7 cm, posiblemente debido a que fue la menor temperatura en que se germinaron y disminuyó la movilización de sustancias de reservas, que son las encargadas de mantener a la plántula durante su desarrollo inicial.

Una altura mayor a 15 cm permite a la planta competir por espacio de crecimiento y la captura de más radiación solar, en comparación con plantas más pequeñas (Grossnickle, 2012). Rueda, (2014) obtuvo una altura promedio de 20.2 cm en plántulas de *Tabebuia*

rosea (Bertol) DC. a los 128 d de establecidas las semillas. *Cedrela odorata* L. alcanzó una altura promedio de 20 cm a los 128 d, estas dos especies tropicales crecen en un ambiente similar al de la especie en estudio. El árbol de *A. galeottiana* alcanzó una altura promedio de 38.7 cm a los 103 d (crecimiento en invernadero a 22 ± 8 °C). Los árboles de *A. galeottiana* se desarrollan en poco tiempo, lo cual reduce los costos por mantenimiento como control de plagas y enfermedades, riego y fertilización en vivero. *A. galeottiana* no requirió fertilización, de modo que fueron suficientes las reservas del endospermo para nutrir a la planta durante su desarrollo inicial.

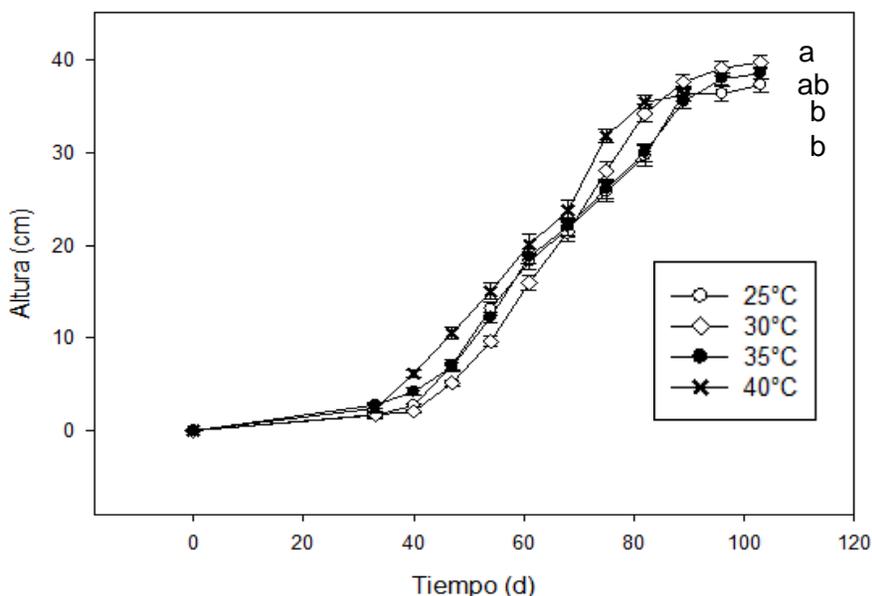


Figura 18. Altura de árboles de *A. galeottiana* en invernadero a los 103 d (22 ± 8 °C). Las semillas provienen de germinación a temperaturas (25, 30, 35 y 40 °C). Letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p > 0.05$).

5.15. Diámetro del árbol a los 103 d

El diámetro del tallo del árbol se considera la mejor característica morfológica para predecir la supervivencia en campo y el crecimiento de las plantas; mientras más grande sea el diámetro a la altura del cuello, la cantidad de raíces será mayor (Haase, 2006).

Rueda *et al.*, 2014 obtuvo un diámetro promedio de 5.9 mm en plántulas de *Tabebuia rosea* (Bertol), a los 128 d de la siembra de semillas. *Cedrela odorata* L. alcanzó un diámetro promedio de 5.0 mm a los 128 d. *A. galeottiana* presentó un diámetro promedio de 9.7 mm a los 103 d de establecidos los experimentos de germinación en temperaturas

controladas durante 13 d y 90 d en invernadero (Figura 19). Medina *et al.*, 2007 obtuvo para *Moringa oleifera* Lam. desarrolladas en un sustrato compuesto por 60 % de suelo franco-limoso alcalino, 10 % de arena y 20 % de composta de estiércol de bovino, lo cual se consideró óptimo, ya que cuenta con nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta, *M. oleifera* alcanzó un diámetro de 9.2 mm a la altura del cuello en un tiempo de 14 semanas, valor muy similar al obtenido en promedio por los tratamientos de temperatura de germinación previa a la siembra para *A. galeottiana*, aunque para este caso se utilizó un sustrato estéril (perlita), que no proporcionó nutrientes a la planta durante el experimento.

En plántulas de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, se alcanzó un diámetro promedio de 5.5 mm a la altura del cuello. Las cuales fueron germinadas y desarrolladas en contenedores con 60 cavidades de 220 cm³ durante tres meses (Muñoz *et al.*, 2011). Aldrete, (2002), obtuvo un diámetro promedio de 11.2 mm a la altura del cuello en plántulas de *Pinus montezumae* Gordon & Glend desarrolladas en bolsas de polietileno durante ocho meses y programa de fertilización. Con respecto al diámetro de plántulas de *A. galeottiana*, el análisis no mostró diferencias significativas a los 103 d ($p < 0.05$) entre los tratamientos de temperatura T1 25, T2 30, T3 35 y T4 40 °C, se registraron diámetros que se ajustan y superan los índices de calidad para esta variable propuesto por Sáenz *et al.*, (2010) y modificado por Rueda *et al.*, (2014) para especies latifoliadas.

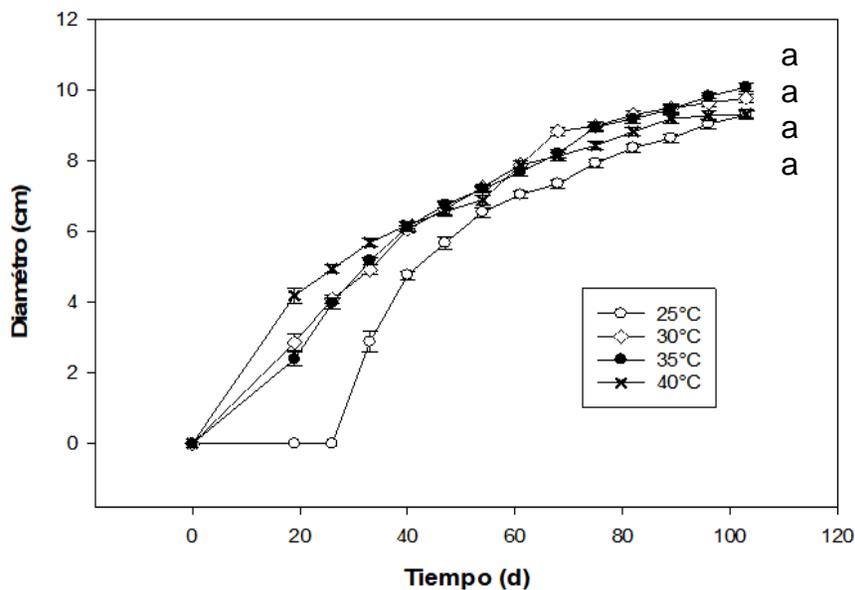


Figura 19. Diámetro de árbol *A. galeottiana* en invernadero a los 103 d (22 ± 8 °C). Las semillas provienen de germinación a temperaturas (25, 30, 35 y 40 °C). Letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p < 0.05$).

5.16. Índice de robustez a los 103 d (IR)

El análisis estadístico mostró que el efecto de los tratamientos T2 30, T3 35 y T4 40 °C sobre el índice de robustez es igual, con un promedio de 3.6, sin embargo, son diferentes al tratamiento T1 25 °C (Cuadro 15). Esto se logró por el tamaño grande del endospermo de la semilla y a la estimulación del movimiento de sustancias de reserva debido al efecto de temperatura constante durante la germinación en germinadora. Una plántula de mayor tamaño suele ser más robusta y puede formar raíces profundas (Quero *et al.*, 2007), captar más luz, y tienen mayor probabilidad de escapar de procesos de mortalidad dependientes del tamaño como los herbívora (Bonfil, 1998).

El almacenamiento de nutrientes en los cotiledones y endospermo mantiene el crecimiento inicial de la plántula (Bewley *et al.*, 2013). Esto debido a que semillas más grandes o pesadas producen por lo general plántulas más grandes, con mayor masa seca (Velázquez-Rosas *et al.*, 2017) además de presentar mayor porcentaje de supervivencia en campo (Khurana y Singh, 2004). La semilla escarificada de *A. galeottiana* se podría considerar grande y pesada, ya que tiene un peso promedio de 51.8 g y dimensiones de largo: 6.3, ancho: 4 y espesor: 3.2 cm respectivamente.

Sáenz *et al.*, (2010) y Rueda *et al.* (2014) propusieron el intervalo (5.5 a 6.0) como buena calidad de planta para el cedro rojo (*Cedrela odorata*).

Cuadro 15. Índice de robustez del árbol a los 103 d en invernadero (22±8 °C). Las semillas provienen de germinación a temperaturas (25, 30, 35 y 40 °C).

Tratamiento	IR	sd	c.v	var	sig
T4 40 °C	4.0	0.05	0.014	0.003	a
T2 30 °C	3.6	0.18	0.044	0.033	a
T3 35 °C	3.4	0.09	0.024	0.009	a
T1 25 °C	2.6	0.18	0.045	0.033	b

Letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p < 0.05$). IR: Índice de robustez, sd: desviación estándar, c.v: coeficiente de variación, var: varianza, sig: significancia. La temperatura se refiere a la germinación previa de semilla.

5.17. Peso fresco y seco de árboles de *A. galeottiana* Standl a los 120 d de establecidas las semillas.

5.17.1. Peso fresco total (PFT)

La cantidad de nutrientes de reserva disponibles en una semilla depende en gran medida del tamaño. Los nutrientes de reserva en la semilla y su uso durante el crecimiento de la plántula determinan la acumulación de biomasa durante las primeras etapas de su desarrollo (Rodríguez, 2008). Para el peso fresco total de árbol a los 120 d, el análisis estadístico no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$), entre tratamientos de temperatura previos de la semilla durante la germinación, con un PFT promedio de 99.98 g.

5.17.2. Peso seco total parte área y raíz (PST)

El crecimiento de las plantas se mide con diferentes métodos entre los cuales se encuentra el aumento de la materia seca (Riaño *et al.*, 2004).

El peso seco total (PST), de *A. galeottiana*, no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos; el promedio fue de 22.8 g.

5.17.3. Relación de la parte aérea y raíz (RPA/R)

Sáenz *et al.*, (2010) mencionan que una buena relación de la parte aérea y la raíz debe fluctuar entre 1.5 y 2.5, valores mayores indican desproporción y la existencia de un sistema radical insuficiente para proveer de energía a la parte aérea de la planta. Con base en los valores anteriores, el análisis estadístico no mostro diferencias significativas entre tratamientos de temperatura constante 25, 30, 35 y 40 °C. en *A. galeottiana* se obtuvo una buena relación RPA/R que se reflejó en la calidad de planta con un promedio de 1.7

5.17.4. Peso seco de la parte aérea (PSPA)

El análisis estadístico para la variable PSPA no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos, aunque la media más alta fue para T4 40 y T3 35 °C con un promedio general por tratamientos de 7.5 g.

5.17.5. Peso seco de la raíz (PSR)

El análisis estadístico mostró que el efecto de los tratamientos T2 30, T3 35 y T4 40 sobre el PSR es igual, con un promedio de 4.3 g, sin embargo, son diferentes al tratamiento T1 25 °C, que resultó con el menor peso seco de raíz, debido posiblemente al efecto de la baja temperatura durante la etapa de germinación (Cuadro 16).

Cuadro 16. Peso seco de raíz a los 120 d establecido en el invernadero (22±8 °C). las semillas provienen de germinación a temperaturas (25, 30, 35 y 40 °C).

Tratamiento	PSR (g)	sd	c.v	var	sig
T4 40 °C	4.89	1.01	0.20	1.02	a
T2 30 °C	4.72	0.92	0.19	0.85	a
T3 35 °C	4.54	0.64	0.14	0.41	a
T1 25 °C	3.33	1.16	0.34	1.34	b

Letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ($p < 0.05$). PSR: peso seco de la raíz, sd: desviación estándar, c.v: coeficiente de variación, var: varianza, sig: significancia.

5.17.6. Peso seco de las hojas (PSH)

El análisis estadístico para la variable PSH a los 120 d no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos de temperatura, con un promedio general de 3.6 g. La media más alta fue para el tratamiento T3 35 °C con 4.1 g.

VI. CONCLUSIONES

La escarificación mecánica permite la germinación de semillas con latencia física de *A. galeottiana*. Las temperaturas constantes durante la germinación aumentan el porcentaje y velocidad de germinación y posterior emergencia de plúmula en invernadero. Las semillas son fotoblásticas insensibles. Los árboles resultantes de los tratamientos de temperatura fueron de calidad. El endospermo contiene suficientes nutrientes para el crecimiento inicial del árbol sin necesidad de usar fertilizantes.

VII. LITERATURA CITADA

- Reyes, R. J., Aldrete, A., Cetina, A. V., López, U. J. (2005). Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *Apulensis* en sustratos a base de aserrín. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 11, 105-110.
- Aráoz, S., Del L., Karlin, O. (2004). Germinación de semillas de *Zizyphus mistol* grisebach ii. respuestas a diferentes temperaturas y luz. *Multequina*, Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas Mendoza, Argentina, núm. 13., pp. 45-50. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42801305>
- Atencio, L., Colmenares, R., Ramírez, V. M., Marcano, D. (2003). Tratamientos pregerminativos en acacia San Francisco (*Peltophorum pterocarpum*) Fabaceae. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 20(1), 63-71. Recuperado en 11 de diciembre de 2021, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182003000100007&lng=es&tlng=es.
- Baskin, C. C., Baskin, J. M. (1998). *Seeds. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. 666 pp. San Diego: Academic Press. doi:10.1006/anbo.2000.123
- Baskin, C. C., Baskin, J. M. (2013). *Seeds Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination*. Londres (Reino Unido): Academic Press El servier. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2000). *Seeds. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. 666 pp. San Diego: Academic Press.
- Baskin, J. M., Baskin, C. C., & Li, X. (2000). Taxonomy, anatomy and evolution of physical dormancy in seeds. *Plant Species Biology*, 15(2), 139-152. <https://doi.org/10.1046/j.1442-1984.2000.00034.x>
- Baskin C. C., & Baskin J. M. (2008). Advances in understanding seed dormancy at the whole-seed level: An ecological, biogeographical and phylogenetic perspective. *Plant Diversity*, 30 (03): 279-294.
- Bautista, N., Sánchez, R., Oliveros, F. (2003). *La regeneración del alcornocal. Manual de buenas prácticas*. Consejería de Obras Públicas y Transportes, Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Bernal, E. (1999). Algunos aspectos de fisiología de semillas forrajeras. Ministerio de Agricultura de Colombia. Bogotá, Colombia. Boletín nº 17. pp3
- Bewley, D., Bradford, K., Hilhorst, H., Nonogaki, H. (2013). *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. 3rd ed. Springer. New York. 392 pp

- Bonfil, C. (1998). The effects of seed size, cotyledon reserves, and herbivory on seedling survival and growth in *Quercus rugosa* and *Q. laurina* (Fagaceae). *American Journal Botany*, 85(1): 79-87.
- Bonner, F, T., Vozzo, J, A., Elam, W, W., Land, S, B., Jr. (1994). Curso de capacitación en tecnología de semillas de árboles - Manual del instructor. Gen. Tech. Rep. SO-106. Nueva Orleans, LA: Departamento de Agricultura de EE. UU., Servicio Forestal, Estación Experimental Forestal del Sur. 160 p.
- Britos, P. G., Quinteros D, M., Enciso G, M. (2013). Crecimiento de especies forestales nativas en una plantación mixta, en el alto paraná. *Investigación Agraria*, 8(2), 50-57.
- Bushman, B, S., Johnson, D, A., Connors, K, J., Jones, T, A. (2015). Germination and seedling emergence of three semiarid western North American legumes. *Rangeland Ecology & Management* 68(6): 501-506.
- CONABIO. (2020). Clasificación completa del taxón *Andira galeottiana* Standl. <https://enciclovida.mx/especies/186454-andira-galeottiana>
- CONAFOR. Comisión Nacional Forestal (2010). Prácticas de reforestación. Semarnat, primera edición, pp 24-26.
- Cordazzo, C, V. (2002). Effect of seed mass on germination and growth in three dominant species in southern Brazilian coastal dunes. *Brazilian Journal of Botany* 62: 427–435
- Deaquiz, O., Burgos, A, Y. (2015) Efecto de la aplicación de giberelinas (GA3) sobre germinación de semillas de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) variedad Santa Cruz. *Conex. Agropec. JDC* 3(2): 29-36.
- Delouche, J, C. (2002). Germinación, deterioro y vigor de semillas. *Seeds News* 6 (6). En: http://www.seednews.inf.br/espanhol/seed66/artigocapa66a_esp.shtml; consulta: junio de 2007.
- Escobar, A, S., Rodríguez, T, D. (2019). Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género *Pinus* en México. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 10(55). <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i55.558>
- Fenner, M., Thompson, K. (2005). *The Ecology of Seeds*. . Cambridge University Press, pp 269.
- Bradford, K. J. (2005). Threshold Models Applied to Seed Germination Ecology. *The New Phytologist*, 165(2), 338–341. <http://www.jstor.org/stable/1514715>
- García, M, A. (2007). Importancia de la calidad del plantín forestal. XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Área Forestal de la EEA Concordia del INTA. <http://www.inta.gov.ar/concordia/info/Forestales/contenido/pdf/2007/312.II.GARCIA.pdf>

- Grossnickle, S, C. (2012). Why seedlings survive: Influence of plant attributes. *New Forests* 43(5–6): 711–738. doi:10.1007/s11056-012-9336-6.
- Gutiérrez, C, L., Dorantes, L, J. 2004. Especies forestales de uso tradicional del estado de Veracruz. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México.
- Gutiérrez, G., Ricker, M. (2010). Ecología forestal de algunas especies arbóreas de interés para la reforestación y restauración del Parque Ecológico Tuzandepetl. Convenio Específico PEP-UNAM No.420401868. pp 8-10.
- Guzmán, J. M., Ortega, M. C., Gordillo, M. M., Segovia, A. O., Santana, S. V. (2013). *Biología de angiospermas*. UNAM. ISBN 978-607-02-2705-9
- Hartmann, H, T., Kester, D, E., Davies, F, T., Geneve, R, L. (2011). *Hartmann & Kester's Plant propagation: principles and practices*. Prentice Hall.
- Haase, D, L. (2006). Morphological and physiological evaluations of seedling quality. *In*: Riley, L. E., R. K. Dumroese, T. D., Landis (Coords.). 2007. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. 2006. RMRS-P-50. USDA, Forest Service. Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, CO. USA. pp: 3-8. <http://www.rngr.net/nurseries/publicatons/proceedings>
- Hastings, R, B. (1990). Medicinal legumes of Mexico: Fabaceae, papilionoideae, part one. *Economic Botany*, 44 (3), pp 336-348. <https://doi.org/10.1007/bf03183915>
- Heinze, G., & Schemper, M. (2002). A Solution to the problem of separation in logistic regression. *Statistics in Medicine*, 21(16): 2409-2419. doi: <dx.doi.org/10.1002/sim.1047>
- Herrera, J., Lines, K., & Vásquez, W. (2006). Estudio de la germinación y la conservación de semillas de cedro maría (*Calophyllum brasiliense*). *Revista Tecnología En Marcha*, 19(1), pág. 61. Recuperado a partir de https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/25
- Infante, G, S., & Zárate de Lara, P, G. (2012). Métodos estadísticos. Un enfoque interdisciplinario. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco de Mora, estado de México. 610 pp
- INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1.
- IUCN. (2017). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-1. Downloaded on 01 January 2019.
- ISTA. (2012). *International Rules for Seed Testing*. Zurich. 300 pp.
- Khurana, E., & Singh, J. (2004). Germination and seedling growth of five tree species from tropical dry forest in relation to water stress: impact of seed size. *J. Trop. Ecol.* 20: 385-396.

- Khurana, E., Singh, J, S. (2001). Ecology of tree seed and seedlings: Implications for tropical forest conservation and restoration. *Current Science*, 80(6), 748–757. <http://www.jstor.org/stable/24105660>
- Lopes, M., Fagundes, M, (2014). Seed size as key factor in germination and seedling development in *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae). *Am.J. Plant Sci.* 5 (17): 2566-2573
- López, A. (2012). Deforestación en México: análisis preliminar. México DF Centro de Investigación y Docencia Económicas AC
- Martínez, R., Rojo, G., Jasso, J., Vázquez, P. (2009). Manejo y almacenamiento de semillas forestales. *Tecnologías de granos y semillas. Libros técnicos, serie Agricultura. Primera edición. México.* pp, 217-261.
- Maguire, J, D. (1962). Speed of germination—aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor 1. *crop science*, 2(2), 176–177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183x000200020033x>
- Medina, M, G., García, D, E., Clavero, T, Iglesias, J, M. (2007). Estudio comparativo de *Moringa oleifera* y *Leucaena leucocephala* durante la germinación y la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Tropical*, 25(2), 83-93. Recuperado en 14 de agosto de 2021, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692007000200004&lng=es&tlng=pt.
- Megías, M., Pilar, M., Pombal, M. (2018). *Órganos vegetales. Semilla. Atlas de Histología Vegetal y Animal.* https://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos-v/guiada_o_v_semilla.php
- Mexal, J, G., Landis, T, D. (1990). Target seedling concepts: height and diameter. In R. Rose, S.J. Campbell, and T.D. Landis (eds.), *Target Seedling Symposium*, USDA Forest Service, Roseburg, Oregon, pp. 17-35.
- Moegenburg, S, M. (1996) Sabal palmetto seed size: causes of variation, choices of predators, and consequences of seedlings. *Oecologia* 106: 539–543.
- Moreno, M, E. (1996). Universidad Nacional Autónoma de México. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Programa Universitario de Alimentos. 393 p.
- Morrison, D, A. (2002). Effects of fire intensity on plant species composition of sandstone communities in the Sydney region. *Austral Ecology*, 27(4), 433-441. <https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2002.01197.x>
- Moya, R, R., Tenorio, M, C. (2013). Características de combustibilidad de diez especies de plantaciones de rápido crecimiento en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 10(24), pp 26-23. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v10i24.1321>

- Muñoz, F., & Hipólito, J. Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista mexicana de ciencias forestales* [online]. 2015, vol.6, n.27, pp.72-89. ISSN 2007-1132.
- Muñoz, F, H, J., García M, J, J., Coria Á, V, M., Orozco G, G., Muñoz V, Y, Y. (2011). Características morfológicas de plántulas de dos especies forestales tropicales propagadas en contenedores biodegradables y charolas Styroblock. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(8), 21-34. Recuperado en 13 de agosto de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322011000600003&lng=es&tlng=es.
- Ochoa, G, S., Pérez, H, I., Frías, H, J. A., Jarquín, S, A., & Méndez, V, A. (2011). Estudio prospectivo de especies arbóreas promisorias para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Tabasco, México, Colegio de la Frontera Sur. 145 p.
- Oliveira, P, J. A., Afif Khouri, E., Ortiz, G, J. Evaluación de un método de escarificación mecánica en la germinación de semillas de leguminosas pratenses. *Pastos*, [S.I.], v. 37, n. 2, p. 179-191, sep. 2011. ISSN 0210-1270. Disponible en: <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/1336/1340>.
- Pennington, T, D., & Sarukhán, J. (2016). Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies. Universidad Nacional Autónoma de México, & Fondo de Cultura Económica (México)
- Pérez, A. (2008). Evaluación de doce métodos de escarificado en semillas de Chonte (*Zanthoxylum aguilarii*) y Canoj (*Ocotea guatemalensis*) en el Asintal, Retalhuleu. Tesis Ing. Agr. Quetzaltenango, Guatemala, URL 126 p.
- Pittcock, J, K. (2008). Seed production, processing and analysis. *In: Plant Propagation*. C A Beyl, R N Trigiano (ed.). CRC Press Taylor & Francis Group. U.S.A. pp:401-406. POPINIGIS, F., 1985. Fisiología da Semente. 2° Ed, Brasilia D.F. 289 pp. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=6182844&pid=S0187-7380201400010001100012&lng=es
- Probert, R, J. (2000). The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination. p. 261–292. In M. Fenner. (ed.). *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. CAB International, Wallingford, United Kingdom. <http://dx.doi.org/10.1079/9780851994321.0261>
- Probert, R. J. (2010). The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination. Chapter 11. En: Fenner M. *Seeds the ecology of regeneration in plant communities*. Second edition. CABI Publishing. Wallinford U.K. 261- 292 pp.
- Prieto, R, J, A., García R, J. L., Mejía, B, J, M., Huchín, A, S., Aguilar V, J, L. (2009). Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Campo Experimental Valle del Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. Publicación Especial Núm. 28. Durango, Dgo. México. 47p. <http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/09%20Manuales%20t%C3%A9cnicos>

[/Lista%20de%20documentos/Viveros%20forestales/Manual%20Produccion%20de%20planta%20de%20Pinus%20en%20vivero.pdf](#)

- Prieto, R, J, A., Vera, C, G., Merlín, B, E. (2003). Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico Núm. 12. Primera reimpresión. Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP-SAGARPA. Durango, Dgo. México. 24 p.
- Potter, R, L., Petersen, J, L., Veckert, D, M. (1984). Germination responses of *Opuntia* spp. to temperature, scarification and other seed treatments. *Weed Science* 32: 106-110.
- Quero, J, L., Villar, R., Marañón, T., Zamora, R., & Poorter, L. (2007). Seedmass effects in four mediterranean *Quercus* species (Fagaceae) growing in contrasting light environments. *Am. J. Bot.* 94(11): 1795-1803
- Rajjou, L., Duval, M., Gallardo, K., Catusse, J., Bally, J., Claudette, T., Job, D. (2012). Seed germination and vigour. *Annual Review of Plant Biology* 63:507-33. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105550>
- Rendón, J., García, B., Cuesta, Y., Areas, Y. (2002). Correlación entre el tamaño de la semilla, la dormancia, la germinación y el vigor de las plántulas de *Calophyllum pinetorum*. *Revista Del Jardín Botánico Nacional*, 23 (1), 75-84. Retrieved August 7, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/42597150>.
- Ricker, M., Hernández, H, M., Sousa, M., Ochoterena, H. (2013). Tree and tree-like species of Mexico: Asteraceae, Leguminosae, and Rubiaceae. *Revista mexicana de biodiversidad*, 84(2), 439-470. <https://doi.org/10.7550/rmb.32013>
- Riaño, M, N., Arcilla, P, J., Jaramillo, R., Á., Chaves, C, B. (2004). Acumulación de materia seca y extracción de nutrientes por *Coffe arabica* L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetera. *Cenicafé* 55(4):265-276.
- Robles, V, F., Rodríguez, T, D, A., Villanueva, M, A. (2017). Calidad de planta y supervivencia en reforestación de *Pinus montezumae* Lamb. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 8(42), 55-76. Recuperado en 01 de enero de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200711322017000400055&lng=es&tlng=es.
- Rodríguez, T., D. A. (2008). Indicadores de calidad de planta forestal. MundiPrensa. México, D. F. México. 156 p
- Rueda, S, A., Benavides, S, J. de D., Sáenz, R, J, T., Muñoz, F, H, J., Prieto, R, J, A., Orozco, G, G. (2014). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(22): 58–73. [Doi:10.29298/rmcf.v5i22.350](https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i22.350).
- Rueda, S, A., Benavides, S, J. de D., Sáenz, R, T., Muñoz, F, H, J., Prieto, R, J. Á., Orozco, G, G. (2014). Calidad de planta producida en los viveros forestales de

- Nayarit. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(22), 58-73. Recuperado en 13 de diciembre de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000200005&lng=es&tlng=es.
- Sáenz, R, J, T., Muñoz, F, H, J., Pérez, D, C, M, A., Rueda, S, A., Hernández, R, J. (2018) Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", Estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, México, ME, v. 5, n. 26, p. 98–111. DOI: 10.29298/rmcf.v5i26.293
- Sánchez, S, B, H., Pacheco, A, E., Lugo, G, G, A., Reyes, O, Á., García, M, E. (2017). Métodos de escarificación en semillas de *Guaiacum coulteri*, especie amenazada del bosque tropical caducifolio del norte de Sinaloa, México. *Gayana Botánica*, 74(2), 262-268. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432017000200262>.
- Sánchez, S, B, H., Pacheco, A, E., Reyes, O, Á., Lugo, G, G, A., Casillas, Á, P., Saucedo, A, C, P. (2016). Ruptura de latencia física en semillas de *Caesalpinia platyloba* S. WATSON *Interciencia*, vol. 41, núm. 10, octubre, pp. 691-695
- Santiago, O, T., Sánchez, M, M., Monroy, C, R., García, G, S. (2007). Manual de producción de especies forestales tropicales en contenedor. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental El Palmar. Folleto Técnico Núm. 44. Ver., México. 73 p.
- SEMARNAT. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental– Especies nativas de México de flora y fauna silvestres– Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio– Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación 30 diciembre, 2010.
- Sistema de información municipal. (2018). Secretaria de finanzas y de planeación(SEFIPLAN).<http://ceieg.veracruz.gob.mx/wpcontent/uploads/sites/21/2018/05/Tezonapa.pdf>.
- Smith, M, T., Wang, B. S. P., Msanga, H. P. (2010). Dormancia y germinación. In: Vozzo, J. A. (ed). *Manual de Semillas de Árboles Tropicales*. United States Department of Agriculture. Washington, D. C. pp: 157-182.
- Takaki, M. (2001). Nueva Propuesta de clasificación de semillas basada en formas de fitocromo en lugar de fotoblastismo. *Revista Brasileira da Fisiología Vegetal* 13,104-105
- Thompson, B, E. (1985). Seedling morphological evaluation. What you can tell by looking. In M.L. Duryea (ed.), *Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures, and Predictive Abilities of Major Tests*. Oregon State University, Corvallis, Oregon, pp. 59-71.
- Vargas, S, G. (2017). Tesis Doctoral Germinación y crecimiento de especies nativas potenciales para la reforestación en el estado de Tabasco, México, Universidad

de Valladolid, Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible 199 páginas.

- Velázquez, J, R., Colín, P, S., García, G, J., (2009). Frutos y semillas de árboles tropicales de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, México D.F., México. 123 pp.
- Velázquez, R, N., Ruiz, G, B., Sánchez, C, M, A., Gamboa, de B, A. Orozco, S, A. (2017). Morphological variation in fruits and seeds of *Ceiba aesculifolia* and its relationship with germination and seedling biomass. *Bot. Sci.* 95: 81-91. DOI: 10.17129/botsci.636
- Villagra, P, E. (1995). Temperature effects on germination of *Prosopis argentina* and *P. alpataco* (Fabaceae, Mimosoidae). AGRIS: International Information System for the Agricultural Science and Technology. <https://agris.fao.org/agris-searchs/searchs.do?recordID=CH9600125>
- Villar, S, P. (2003). Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. In J.M. Rey-Benayas, T. Espigares Pinilla, and J.M. Nicolau Ibarra (eds.), *Restauración de Ecosistemas Mediterráneos*. Universidad de Alcalá / Asociación Española de Ecología Terrestre, Alcalá de Henares, Spain, pp. 65-86.
- Yañez, E, L. (2015). *Las principales familias de árboles en México*. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales, Texcoco estado de México.